



TESIS - RE185401

# **STRATEGI PENGENDALIAN DAMPAK KEGIATAN PRODUKSI AIR MINUM ISI ULANG (ULTRAVIOLET DAN OZON) DENGAN PROSES LCA**

AYU LINTANG SUMINAR

03211750010009

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

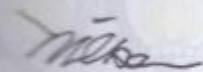
Ayu Lintang Suminar

NRP. 03211750010009

Tanggal Ujian: 10 Januari 2019

Periode Wisuda: September 2019

Ditandatangani oleh:



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc  
NIP. 19550128 198503 2 001

(Pembimbing)



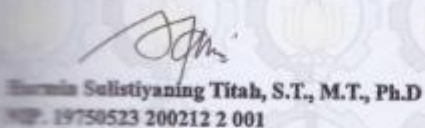
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D  
NIP. 19620816 199003 1 004

(Penguji)



Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19730601 200003 1 001

(Penguji)

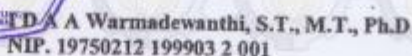


Hermin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19750523 200212 2 001

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Dekan,



D. A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19750212 199903 2 001



# **STRATEGI PENGENDALIAN DAMPAK KEGIATAN PRODUKSI AIR MINUM ISI ULANG (ULTRAVIOLET DAN OZON) DENGAN PROSES LCA**

Nama Mahasiswa : Ayu Lintang Suminar  
NRP : 03211750010009  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

## **ABSTRAK**

Kualitas air minum yang layak untuk dikonsumsi dipengaruhi oleh tahap penghilangan kotoran dan bakteri yaitu tahap desinfeksi, tahap tersebut menggunakan berbagai sistem meliputi sistem membran filtrasi, ozonasi, sinar ultraviolet, dan lain-lain. Sistem membran filtrasi digunakan untuk menghilangkan kotoran dengan cara penyaringan. Ozon digunakan sebagai desinfektan untuk menghilangkan bau, warna, rasa, kotoran maupun bakteri. Ultraviolet sebagai desinfektan yang digunakan untuk menghilangkan kotoran dan bakteri.

Pada setiap tahapan proses pengolahan air minum menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan dan manusia. Dampak tersebut timbul dari aktivitas kegiatan depo air minum isi ulang mulai dari transfer air sumber kedalam truk tangki, transportasi pengangkutan air, transfer air dari truk tangki ke tandon, transfer air dari tandon melalui teknologi ultraviolet maupun ozon menuju pengisian galon. Maka perlu dilakukan identifikasi dampak dari suatu proses siklus hidup suatu sistem pengolahan dengan metode *Life Cycle Assessment* dengan menggunakan *Tools* SimaPro 8.5 dan dilakukan penentuan strategi alternatif sebagai upaya perbaikan lingkungan dengan menggunakan *Analytical Hirarky Process*.

Penilaian menggunakan analisis *Life Cycle Assessment* memberikan hasil bahwa dampak paling besar *Human Health* yang terjadi dari proses

penggunaan energi pada teknologi ultraviolet sebesar 42, 962 mpt dan ozon adalah sebesar 42,636 mpt. Strategi alternatif yang memungkinkan untuk meminimalisir dampak dari emisi berdasarkan studi literatur dan diskusi dengan pihak terkait didapatkan prioritas pertama yaitu menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik sebesar 73%.

**Kata kunci:** *Life Cycle Assessment, SimaPro 8.5, Ozon, Ultraviolet, dan Analytical Hirarky Process*

**STRATEGY TO CONTROL THE IMPACT OF PRODUCTION OF  
REFILLED DRINKING WATER (ULTRAVIOLET AND OZONE) BY  
THE LCA PROCESS**

Student Name : Ayu Lintang Suminar  
Student ID Number : 03211750010009  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

**ABSTRACT**

The quality of drinking water that is suitable for consumption is influenced by the stages of removal of dirt and bacteria, namely the disinfection stage, this stage uses a variety of systems including membrane filtration systems, ozonation, ultraviolet light, and others. The filtration membrane system is used to remove impurities by filtration. Ozone is used as a disinfectant to eliminate odor, color, taste, dirt and bacteria. Ultraviolet as a disinfectant used to remove impurities and bacteria.

At each stage of the drinking water treatment process causes various impacts on the environment and humans. The impact arises from activities of refill drinking water depots ranging from transferring source water into tank trucks, transporting water, transferring water from tank trucks to reservoirs, transferring water from reservoirs through ultraviolet and ozone technology to charging gallons. Then it is necessary to identify the impact of a life cycle process of a processing system using the Life Cycle Assessment method by using Tools SimaPro 8.5 and an alternative strategy is determined as an effort to improve the environment using the Analytical Hierarchy Process.

Assessment using the Life Cycle Assessment analysis results that the greatest impact of Human Health that occurs from the process of energy use on ultraviolet technology is 42, 962 mpt and ozone is 42.636 mpt. An alternative strategy that allows to minimize the impact of emissions based on literature

studies and discussions with related parties is obtained the first priority, namely using environmentally friendly technology and electricity saving devices by 73%.

**Keywords:** *Life Cycle Assessment, SimaPro 8.5, Ozone, Ultraviolet, and Analytical Hirarky Process*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya laporan tesis yang berjudul “Strategi Pengendalian Dampak dari Kegiatan Produksi Air Minum isi Ulang (Ultraviolet dan Ozon) dengan Proses LCA” dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Tesis ini dibuat sebagai persyaratan kelulusan program Magister Teknik Lingkungan ITS. Penulis telah mendapat banyak saran dan motivasi dalam proses penulisan laporan tesis ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan saran hingga laporan tesis dapat terselesaikan.
2. Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D., Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D., dan Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pengarah tesis yang telah memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan tesis ini.
3. Dr. Ali Masduqi, ST. MT., selaku dosen wali, Dr.Ir. Rachmat Boedisantoso, MT. dan dosen-dosen Teknik Lingkungan ITS atas dorongan semangat, waktu diskusi dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak dan Ibu yang selalu mendukung apapun kegiatan positif penulis dan adik yang senantiasa tiada hentinya membantu dalam proses penyelesaian tesis.
5. Teman – teman S1 dan S2 Teknik Lingkungan yang telah membantu proses tahapan penelitian ini.

Rasa hormat dan terima kasih juga kepada Arie, Erdhyan, Ida, Mayang, Ragil, Raras, Rosa, dan Yaya yang selalu memberikan bantuan, saran, diskusi, doa, dan motivasi selama penelitian. Penulis berharap semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Air Minum .....	5
2.2 Sumber Air Minum .....	5
2.3 Kualitas Air Minum .....	6
2.3.1 Parameter Air Minum .....	6
2.4 Depo Air Minum Isi Ulang .....	8
2.4.1 Proses Pengolahan Air Minum Isi Ulang .....	9
2.4.2 Teknologi Pengolahan Air Minum Isi Ulang .....	11
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Air Minum Isi Ulang .....	14
2.5.1 Kebersihan ( <i>Hygiene</i> ) .....	14
2.5.2 Perawatan dan Pemeliharaan Peralatan .....	16
2.6 Emisi Gas Rumah Kaca .....	17
2.7 Tipe/Jenis dan Kategori Sumber GRK .....	18
2.8 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> .....	19
2.9 Tingkatan amatan dalam <i>Life Cycle Assessment</i> .....	19

2.10	Tahapan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> .....	20
2.11	Metode Impact 2002+ .....	22
2.12	<i>Software</i> SimaPro 8.5 .....	24
2.13	<i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i> .....	27
2.14	Penelitian Terdahulu.....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN .....		31
3.1	Kerangka Penelitian .....	31
3.2	Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....	32
3.3	Studi Literatur.....	33
3.4	Pengumpulan Data .....	33
3.5	Analisis Data dan Pembahasan.....	33
3.6	Kesimpulan Dan Saran.....	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		39
4.1	Analisis <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> .....	39
4.1.1	Penentuan <i>Goal</i> dan <i>Scope</i> .....	39
4.2	Penentuan <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> .....	40
4.2.1	Identifikasi Dampak .....	40
4.2.2	Pengumpulan Data dan Asumsi- Asumsi .....	43
4.3	Penilaian Dampak ( <i>Life Cycle Impact Assessment</i> ) .....	63
4.3.1	LCIA Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki.....	63
4.3.2	LCIA Kegiatan Transportasi Sumber Prigen.....	65
4.3.3	LCIA Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo....	66
4.3.4	LCIA Kegiatan Transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon .....	67
4.3.5	LCIA Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki.....	68
4.3.6	LCIA Kegiatan Transportasi Sumber Pacet .....	69
4.3.7	LCIA Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo....	70
4.3.8	LCIA Kegiatan Transfer Air dari Tandon Melalui Ozon Menuju Pengisian Galon.....	71

4.3.9	Analisa Dampak Keseluruhan.....	73
4.4	Penentuan Strategi Prioritas dalam Pengendalian Dampak dari Kegiatan Produksi Air Minum Isi Ulang .....	96
4.4.1	Pemilihan Prioritas Alternatif dengan AHP .....	97
	<i>“Halaman ini sengaja dikosongkan”</i> .....	104
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		105
5.1	Kesimpulan .....	105
5.2	Saran .....	105
DAFTAR PUSTAKA .....		107
LAMPIRAN.....		111
BIOGRAFI PENULIS .....		117



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Unit Pengolahan Teknologi UV.....	13
Gambar 2. 2 Unit Pengolahan Teknologi Ozon-UV.....	14
Gambar 2. 3 Ilustrasi cakupan inventarisasi GRK sektor energi .....	17
Gambar 2. 4 Kategori sumber-sumber utama emisi GRK sektor energi .....	18
Gambar 2. 5 Tahapan penyusunan LCA.....	20
Gambar 2. 6 Skema midpoint categories pada metode Impact 2002+ .....	23
Gambar 2. 7 Penentuan goal .....	25
Gambar 2. 8 Penentuan scope.....	26
Gambar 3. 1 Kerangka penelitian .....	32
Gambar 4. 1 Identifikasi dampak pada depo ultraviolet.....	41
Gambar 4. 2 Identifikasi dampak depo ozon .....	42
Gambar 4. 3 Lokasi sumber air Jl. Melati, Prigen Jawa Timur .....	44
Gambar 4. 4 Sumber air di Desa Kembang Sore-Pacet, Jawa Timur. ....	45
Gambar 4.4 Tahap Life Cycle Inventory .....	55
Gambar 4. 5 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air sumber prigen ke truk tangki .....	55
Gambar 4. 6 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transportasi sumber Prigen.....	56
Gambar 4. 7 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air dari truk tangki ke tandon depo .....	57
Gambar 4. 8 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon.....	58
Gambar 4. 9 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air sumber Pacet ke truk tangki.....	59
Gambar 4. 10 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transportasi sumber Pacet.....	60
Gambar 4. 11 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air dari truk tangki ke tandon depo .....	61
Gambar 4. 12 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i> kegiatan transfer air dari tandon melalui ozon.....	62

Gambar 4. 13 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki .....	64
Gambar 4. 14 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada transportasi.....	65
Gambar 4. 15 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air dari truk tangki ke tandon depo .....	66
Gambar 4. 16 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon .....	67
Gambar 4. 17 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki .....	68
Gambar 4. 18 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada transportasi.....	69
Gambar 4. 19 Diagram pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air dari truk tangki ke tandon depo .....	70
Gambar 4. 20 Diagram Pohon ( <i>Network</i> ) pada proses transfer air dari tandon melalui ozon menuju pengisian galon .....	72
Gambar 4. 21 Diagram <i>Characterization</i> seluruh kegiatan pengolahan air minum isi ulang (sumber Prigen dan UV) .....	77
Gambar 4. 22 Diagram <i>Characterization</i> sumber Pacet .....	81
Gambar 4. 23 Diagram <i>Normalization</i> sumber Pacet .....	86
Gambar 4. 24 Diagram <i>Normalization</i> sumber Prigen.....	90
Gambar 4. 25 Diagram batang transfer air sumber .....	92
Gambar 4. 26 Diagram batang transportasi.....	93
Gambar 4. 27 Diagram batang transfer air dari truk ke tandon.....	93
Gambar 4. 28 Diagram batang dari tandon melalui uv/ozon ke galon	94
Gambar 4. 29 Diagram Perbandingan Kegiatan Keseluruhan .....	95
Gambar 4. 30 Hirarki strategi pengendalian dampak lingkungan.....	100



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Persyaratan Kualitas Air Minum .....	7
Tabel 2. 2 Metode pada SimaPro 8.5 .....	21
Tabel 2. 3 Daftar Penelitian Terdahulu .....	28
Tabel 3. 1 Masukan dan Keluaran pada <i>Life Cycle Inventory</i> .....	34
Tabel 3. 2 Faktor Emisi untuk diesel bahan bakar solar .....	35
Tabel 4. 1 Data Sumber Air dan Teknologi yang Digunakan.....	43
Tabel 4. 2 Hasil Uji Kualitas Air di Sumber Pegunungan .....	45
Tabel 4. 3 Hasil Uji Kualitas Air didalam Truk Tangki .....	46
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kualitas Air didalam Tandon .....	46
Tabel 4. 5 Hasil Uji Kualitas Air Setelah Pengolahan Teknologi UV dan Ozon	47
Tabel 4. 6 Data Debit, Pemakaian Solar, dan Daya Listrik .....	48
Tabel 4. 7 Faktor Emisi untuk diesel bahan bakar solar .....	49
Tabel 4. 8 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki .....	64
Tabel 4. 9 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> Pada Transportasi .....	65
Tabel 4. 10 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses Transfer Air dari Truk Tangki ke tandon Depo .....	66
Tabel 4. 11 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon.....	68
Tabel 4. 12 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki.....	69
Tabel 4. 13 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Transportasi.....	70
Tabel 4. 14 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses Transfer Air dari Truk Tangki ke tandon Depo .....	71
Tabel 4. 15 Hasil <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i> pada Proses Transfer Air dari Tandon Melalui Ozon Menuju Pengisian Galon .....	72
Tabel 4. 16 <i>Characterization Factor</i> .....	73
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan <i>Characterization</i> .....	74
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan <i>Characterization</i> Transportasi Sumber Prigen.....	74

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo.....	75
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan <i>Characterization Transfer</i> air Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon .....	76
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan <i>Characterization Transfer</i> Air Sumber Pacet ke Truk Tangki .....	78
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan <i>Characterization</i> Transportasi Sumber Pacet.....	78
Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo.....	79
Tabel 4. 24 Hasil Perhitungan Transfer Air tandon melalui Ozon menuju pengisian galon .....	80
Tabel 4. 25 <i>Normalization Factor</i> .....	82
Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki.....	83
Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transportasi Sumber Pacet .....	83
Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo .....	84
Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transfer air Pacet dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon .....	85
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki .....	87
Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transportasi Sumber Prigen.....	87
Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo .....	88
Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan <i>Normalization</i> Kegiatan Transfer air Prigen dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon .....	89
Tabel 4. 34 Hasil Nilai Keseluruhan Pembobotan pada Depo UV .....	91
Tabel 4. 35 Hasil Nilai Keseluruhan Pembobotan pada Depo Ozon.....	91
Tabel 4. 36 Alternatif untuk Pengendalian Dampak .....	97
Tabel 4. 37 Simbol dan Definisinya .....	100
Tabel 4. 38 Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot Penilaian Kriteria .....	101
Tabel 4. 39 Penilaian Alternatif Kriteria Dampak Lingkungan .....	101

Tabel 4. 40 Penilaian Alternatif Kriteria Biaya Investasi dan Produksi .....	102
Tabel 4. 41 Penilaian Alternatif Kriteria Kemudahan Pelaksanaan.....	102
Tabel 4. 42 Nilai Bobot Setiap Kriteria dan Strategi Alternatif.....	102



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan pembangunan yang meningkat pesat di Surabaya mengakibatkan kebutuhan air minum yang murah, praktis, dan memenuhi syarat kesehatan untuk dikonsumsi manusia semakin meningkat. Ketersediaan dan kondisi air tanah di Surabaya sekarang ini tidak memungkinkan digunakan sebagai air yang layak untuk dikonsumsi. Seiring perkembangan jaman diikuti dengan kemajuan teknologi dalam upaya memenuhi kebutuhan air minum, masyarakat cenderung menggunakan air minum isi ulang (Marsono, 2013).

Depo air minum isi ulang merupakan salah satu jenis usaha air yang mengolah air baku menjadi air minum dengan berbagai teknologi dan pengemasan kemudian menjualnya langsung kepada konsumen. Tahapan proses produksi air minum dimulai dari pengambilan air baku di sumber pegunungan yang di angkut oleh truk tangki kemudian dimasukkan ke dalam tandon yang berada di depo air minum isi ulang kemudian dilakukan penghilangan kotoran dan bakteri yang ikut terbawa dan pengisian air hasil produksi ke dalam galon konsumen. Dalam pengolahan air minum yang berpengaruh besar terhadap kualitas air produksi adalah pada tahap desinfeksi, tahap tersebut menggunakan berbagai sistem meliputi sistem ozonasi, membran filter, sinar UV, dan lain-lain (Xi *et al.*, 2017).

Pada setiap tahapan proses pengolahan air minum menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan dan manusia. Dampak tersebut timbul dari aktivitas kegiatan depo air minum isi ulang mulai dari pengambilan air di sumber hingga diolah menjadi air produksi. Dari aktivitas-aktivitas tersebut mengeluarkan energi yang berpotensi terjadinya pencemaran udara, penggunaan bahan bakar yang bersumber dari bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas buang sehingga berpengaruh pada perubahan iklim (Bernstein, L. *et al.*, 2007). Hasil penelitian yang pernah dilakukan menyatakan bahwa 26 dari 30 DAMIU di Kecamatan Wonocolo Surabaya pada parameter Total Coliform tidak memenuhi persyaratan

kualitas air minum isi ulang berdasarkan Permenkes No. 492 tahun 2010 (Karnaningroem, 2017). *Coliform* dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti diare, disentri, dan hepatitis. untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari kegiatan tersebut perlu dilakukan penilaian pentahapan dengan menggunakan suatu metode. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA merupakan metode untuk mengidentifikasi, menilai dampak lingkungan pada suatu proses produksi atau sistem pengolahan, dan menerapkan kemungkinan perbaikan di sepanjang siklus hidupnya (Brujin *et al.*, 2002). Metode ini akan memperkirakan potensi dampak yang ditimbulkan dari suatu sistem pengolahan atau produk yang dihasilkan di dalam siklus hidupnya terhadap lingkungan dan dampak mana yang akan diperhitungkan (Bogia *et al.*, 2009). Salah satu program yang dapat membantu memudahkan yaitu dengan menggunakan SimaPro 8.5. LCA dapat digunakan untuk memudahkan dalam pengambilan keputusan strategi dalam upaya perbaikan (Tapia *et al.*, 2005). Kemudian perlu dilakukan kajian strategi untuk mengendalikan depo air minum isi ulang dalam upaya peningkatan proses pengolahan air minum sehingga menghasilkan produk yang feasible dan efektif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana dampak yang terjadi akibat aktifitas depo (ozon dan ultraviolet) dengan konsep LCA?
2. Bagaimana strategi pengendalian dampak dari kegiatan produksi air minum isi ulang (ozon dan ultraviolet)?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dampak yang terjadi akibat aktifitas depo (ozon dan ultraviolet) dengan konsep LCA
2. Menetapkan strategi pengendalian dampak dari kegiatan produksi air minum isi ulang (ozon dan ultraviolet)

#### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan pada depo air minum isi ulang di Surabaya Timur
2. Penelitian ini hanya fokus pada teknologi ultraviolet dan ozon
3. Analisis *Life Cycle Assessment* menggunakan program SimaPro 8.5
4. *Metode Life Cycle Assessment*
  - Penentuan *Goal and Scope*
  - Penentuan *Life Cycle Inventory*
  - Penentuan *Life Cycle Impact Assessment*
    - *Characterization*
    - *Normalization*
    - *Wiegthing and Single Score*
5. *Metode Analytical Hierarky Process*
6. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai September 2018 sampai November 2018

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Minum**

Air merupakan kebutuhan utama bagi makhluk hidup terutama manusia. Air juga berperan sebagai media berkembang biak dan lingkungan yang baik bagi kehidupan mikroorganisme patogen dan non pathogen. Air minum harus memenuhi syarat kualitas kesehatan sebelum dikonsumsi oleh manusia (Mohsin *et al.*, 2013). Air minum layak konsumsi adalah air minum yang tidak menimbulkan penyakit.

Berdasarkan Permenkes RI No 492/MENKES/PER/IV/2010 air minum adalah air tanpa proses pengolahan atau telah melalui proses pengolahan yang memenuhi syarat kualitas kesehatan dan dapat langsung diminum oleh masyarakat.

#### **2.2 Sumber Air Minum**

Sumber air minum merupakan salah satu faktor yang menentukan kelayakan air minum tersebut untuk dapat dikonsumsi oleh Sumber air dibedakan menjadi dua yaitu air tanah dan air permukaan. Sumber air yang digunakan sebagai air baku untuk air minum yaitu

- Mata air

Mata air berasal dari proses peresapan air hujan yang masuk ke dalam tanah. Apabila curah hujan tidak tetap sepanjang tahun maka kapasitas dari mata air akan berfluktuasi (Joko, 2010). Kualitas mata air sangat baik bila dipakai sebagai air baku karena berasal dari dalam tanah yang muncul ke permukaan tanah akibat tekanan, sehingga belum banyak terkontaminasi oleh zat-zat pencemar

- Air tanah dangkal

Air tanah dangkal merupakan air tanah yang terbentuk dari proses peresapan air pada permukaan tanah dengan kedalaman sekitar 15 meter dan terkumpul di atas lapisan rapat air. Sedangkan kualitas airnya cukup baik dengan adanya proses penyaringan oleh lapisan tanah (Joko, 2010).

- **Air Permukaan**

Air permukaan meliputi badan-badan air seperti danau, waduk, rawa, dan sungai. Sungai memiliki karakteristik umum yaitu debit aliran dan fluktuasi kualitas air sepanjang tahun, hari, dan jam. Debit aliran minimum terjadi pada akhir periode musim kemarau. Sedangkan debit aliran maksimum yang disertai dengan kualitas air buruk di musim penghujan (Joko, 2010). Pada umumnya, air permukaan telah terkontaminasi dengan berbagai zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan sehingga memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dikonsumsi oleh masyarakat (Notoatmodjo, 2007).

## **2.3 Kualitas Air Minum**

Air minum yang diperoleh dari air kemasan, air minum yang didistribusikan melalui tangki air, air minum yang didistribusikan melalui pipa untuk keperluan rumah tangga, maka jenis air minum tersebut harus memenuhi syarat kesehatan air minum. Air minum yang aman adalah air yang telah memenuhi semua persyaratan dilihat dari kualitas secara fisik, kimiawi, biologis, maupun radioaktif sesuai dengan standar kualitas air minum yaitu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010. Dalam peraturan tersebut diatur parameter wajib dan tambahan (Karnaningroem, 2017).

### **2.3.1 Parameter Air Minum**

Parameter air minum berpengaruh terhadap keamanan air yang layak konsumsi konsumen (Mohsin *et al.*, 2013). Parameter kualitas air minum secara fisik dapat ditentukan berdasarkan warna, bau, rasa, kekeruhan dan temperature. Sedangkan parameter kualitas kimia diindikasikan mengandung zat kimia yang beracun dengan konsentrasi tinggi yang berpengaruh terhadap kesehatan. Untuk kualitas biologis air minum didasarkan pada indikator kelompok-kelompok mikroba yang menandakan mikroba patogen yaitu bakteri *Coliform*. Parameter persyaratan kualitas air minum dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1 Parameter Persyaratan Kualitas Air Minum**

Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
<b>a. Parameter Mikrobiologi</b>		
E. Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
<b>b. Parameter Fisik</b>		
Warna	TCU	15
TDS	mg/L	500
Kekeruhan	NTU	5
<b>c. Parameter Kimiawi</b>		
Kesadahan	mg/L	500
pH		6,5-8,5

*Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010*

Beberapa parameter terkait kualitas air minum yaitu

a. Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan tersuspensi seperti lanau, lempung, partikel halus organik dan anorganik, mikroorganisme Kekeruhan dipengaruhi oleh adanya koloid dari partikel yang kecil atau adanya pertumbuhan mikroorganisme. Semakin banyak mikroorganisme dan partikel dalam air, maka semakin besar nilai kekeruhannya. Air yang layak konsumsi harus mengandung kekeruhan yang rendah.

b. Total zat padat terlarut (TDS)

*Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan ukuran jumlah partikel zat baik organik, anorganik maupun garam yang terlarut dalam air yang dapat mempengaruhi kejernihan, rasa, dan bau. Pada umumnya TDS diukur dengan menguapkan sampel yang bertujuan untuk menghilangkan semua suspensi materi yang terkandung dalam sampel. Untuk mengindikasikan konsentrasi TDS terdapat dua parameter, yaitu sifat konduktivitas air dan tekanan osmotik. TDS dalam air

dapat direduksi menggunakan destilasi, ion exchange, dan reverse osmosis (Sherrard *et al.*, 2015). TDS digunakan untuk memperkirakan kualitas air minum karena terwakili jumlah ion dalam air. Bahan yang tersuspensi dan terlarut dalam air mempengaruhi nilai TDS namun tidak bersifat toksik (Karnaningroem, *et al.*, 2017).

c. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan nilai menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air. Nilai pH dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain aktivitas biologi, kandungan oksigen, ion, dan suhu. pH yang terlalu rendah pada air akan berasa pahit atau asam. Derajat keasaman (pH) air yang kurang dari 6,5 atau pH berifat asam dapat meningkatkan korosifitas pada benda-benda logam, menimbulkan rasa tidak enak dan dapat menyebabkan beberapa bahan kimia menjadi racun sehingga dapat mengganggu kesehatan (Sherrad *et al.*, 2015).

d. Total *Coliform*

Kehadiran mikroorganisme terutama bakteri *Coliform* sangat berpengaruh pada proses pengolahan air minum. Semakin tinggi kontaminasi bakteri *Coliform*, maka mengindikasikan risiko kehadiran bakteri patogen lainnya juga tinggi (Eulis *et al.*, 2008). Menurut Permenkes No 492/MENKES/PER/IV/2010 menjelaskan bahwa E. Coli dalam 100 ml sampel dan Total Coliform dalam 100 ml sampel harus bernilai 0 (nol).

Keberadaan *Coliform* disebabkan oleh proses desinfeksi yang tidak sempurna, pencucian yang salah, pemakaian galon yang rawan pencemaran, dan pemeliharaan peralatan dalam proses pengolahan serta pendistribusian air yang tidak dilakukan secara berkala juga mempengaruhi.

## 2.4 Depo Air Minum Isi Ulang

Depo air minum isi ulang adalah usaha industri yang melakukan proses pengolahan air baku menjadi air minum dan menjual kepada konsumen (Kepmenindag, 2004). Air minum isi ulang merupakan air yang telah melalui proses pengolahan yang berasal dari sumber mata air pegunungan dan telah melewati tahap proses pengolahan dalam menghilangkan mikroorganisme

pathogen kandungan di dalam air sehingga air dapat layak untuk dikonsumsi oleh manusia.

Berdasarkan Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Nomor 651/MPP/Kep/10/2004 untuk menjaga kualitas air minum, maka depo air minum harus melakukan pengawasan secara periodik, dimana pengujian tersebut yaitu adanya analisis koliform satu kali dalam tiga bulan dan analisis fisik, kimiawi dalam dua kali setiap satu tahun. Sedangkan untuk usaha depo air minum harus memiliki ijin operasi, depo air minum dilarang mengambil sumber air baku yang berasal dari PDAM dan harus berasal dari mata air pegunungan yang bebas dari kontaminasi zat. Depo air minum isi ulang semakin berkembang pesat dan tersebar luas diberbagai daerah karena sangat praktis, mudah dan harga lebih murah. Air minum dari depo isi ulang memiliki harga sepertiga lebih murah dibandingkan dengan AMDK bermerek sehingga terjangkau oleh masyarakat khususnya menengah ke bawah beralih pada layanan ini dalam memenuhi kebutuhan air minum sehari-hari.

Namun terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dari masyarakat yang mengkonsumsi air minum isi ulang, karena apabila pada proses sterilisasi peralatan yang digunakan tidak memenuhi standar kualitas yang ditetapkan oleh pemerintah maka akan beresiko yang berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia.

#### **2.4.1 Proses Pengolahan Air Minum Isi Ulang**

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.43 tahun 2014 tentang Hygiene Sanitasi Depo Air Minum, peralatan yang digunakan di terbuat dari bahan tara pangan. Peralatan pada pengolahan air minum isi ulang meliputi pipa pengisian air baku, tandon air baku, pompa penghisap dan penyedot, filter, mikrofilter, kran pengisian air minum, kran pencucian galon, kran penghubung, dan peralatan desinfeksi. Tandon air sebaiknya terbuat dari bahan tara pangan (*food grade*), seperti stainless steel atau polyvinyl-carbonate. Pembersihan dan perawatan dalam tandon harus dilakukan secara rutin. Bahan tandon tidak boleh mengandung unsur logam berbahaya seperti timah hitam (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan seng (Zn). Peralatan yang digunakan untuk

mengolah air minum isi ulang meliputi *storage tank*, *flow meter*, *stainless water pump*, dan galon air. *Stainless water pump* berfungsi untuk memompa air baku air minum isi ulang dari tempat *storage tank* menuju kedalam tabung filter. *Flow meter* berfungsi untuk mengukur air yang dialirkan menuju galon. Galon merupakan wadah untuk menampung hasil pengolahan air baku air minum isi ulang.

Menurut Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan RI tentang Persyaratan Teknis Depo Air Minum Isi Ulang No.651/MPP/Kep/10/2004 sebagai berikut:

a. Penampungan air baku

Air baku yang diambil dari sumbernya diangkut dengan menggunakan tangki air dan selanjutnya ditampung dalam bak tandon. Tangki pengangkutan mempunyai persyaratan yang terdiri atas:

- Tangki digunakan khusus untuk air minum, terdapat manhole
- Mudah dibersihkan dan didesinfektan, diberi pengaman
- Proses pengisian dan pengeluaran air harus melalui kran

Selang dan pompa yang dipakai untuk bongkar muat air baku harus diberi penutup yang baik, disimpan dengan aman dan dilindungi dari kemungkinan kontaminasi.

b. Penyaringan bertahap

Tahapan penyaringan antara lain terdiri dari :

1) Saringan berasal dari pasir atau sandfilter

Dalam proses saringan ini terbagi atas tiga yaitu saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, dan saringan berkecepatan tinggi yang berguna untuk menghilangkan organisme patogen yaitu bakteri dan virus dari air baku. Penggantian pasir dilakukan setiap 1-1.5 tahun sekali. Pembersihan dilakukan setiap 2 minggu sekali dengan sistem backwashing.

2) Saringan karbon aktif atau carbon filter

Fungsi carbon filter adalah sebagai penyerap bau, rasa, warna, sisa klor dan bahan organik. Semakin lama air yang kontak dengan carbon filter semakin banyak pula zat yang terserap. Penggantian karbon aktif dilakukan setiap 1-1.5

tahun sekali. Pembersihan dilakukan setiap 2 minggu sekali dengan sistem backwashing.

3) Saringan halus atau micro filter

Microfilter berguna untuk menyaring partikel yang berukuran 0,04 – 100 mikron. Penggantian microfilter dilakukan setiap 3 bulan sekali. Pembersihan dilakukan setiap 2 minggu sekali. Microfilter terbuat dari bahan keramik, spons, benang atau kombinasi beberapa bahan tersebut. Ukuran yang disediakan dipasaran adalah 1 mikron, 3 mikron, 5 mikron, dan 10 mikron. Penggunaan mikrofilter paling efektif dan efisien adalah menggunakan bahan keramik dan ukurannya adalah 1 mikron. Semakin kecil ukuran microfilter maka semakin tinggi pula kemampuannya dalam menyaring partikel-partikel halus.

c. Desinfeksi

Desinfeksi dimaksudkan untuk membunuh kuman patogen. Proses desinfeksi dengan menggunakan ozon ( $O_2$ ) berlangsung dalam tangki pencampur ozon minimal 0,1 ppm dan residu ozon sesaat setelah pengisian berkisar antara 0,06 – 0,1 ppm. Tindakan desinfeksi selain menggunakan ozon, dapat dilakukan dengan cara penyinaran Ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang 254 mm atau kekuatan 2.5370 A. Proses desinfeksi sinar UV yaitu dengan melewati air kedalam tabung atau pipa yang disinari dengan lampu UV.

d. Pengisian

Pengisian tempat air (wadah) dilakukan dengan menggunakan alat serta dilakukan dalam tempat pengisian yang higienis.

e. Penutupan

Penutupan tempat air (wadah) dapat dilakukan dengan tutup yang dibawa konsumen dan atau yang disediakan oleh depo air minum.

#### **2.4.2 Teknologi Pengolahan Air Minum Isi Ulang**

Teknologi yang digunakan pada pengolahan air minum isi ulang adalah

a. Teknologi Filter

Sebagian besar depo air minum isi ulang dilakukan proses filtrasi dalam beberapa tahap. Tahap pertama filter berisi media pasir, kedua media mangan

zeolit, dan ketiga berisi media karbon aktif. Pada setiap filter mempunyai fungsi antara lain filter pasir berfungsi untuk menyaring partikel-partikel halus dari tangki air baku, filter mangan zeolit berfungsi untuk menghilangkan zat besi atau mangan yang belum sempat teroksidasi oleh khlorin atau kaporit, filter karbon aktif berfungsi untuk menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa phenol serta untuk menyerap logam berat dan lain-lain. Pada filter karbon aktif ini terjadi proses adsorpsi (proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan) oleh permukaan karbon aktif. Apabila seluruh permukaan karbon aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap, maka proses penyerapan akan berhenti. Pada saat ini karbon aktif harus diganti dengan karbon aktif baru (Yudo dan Rahardjo, 2005).

b. Teknologi Cartridge Filter

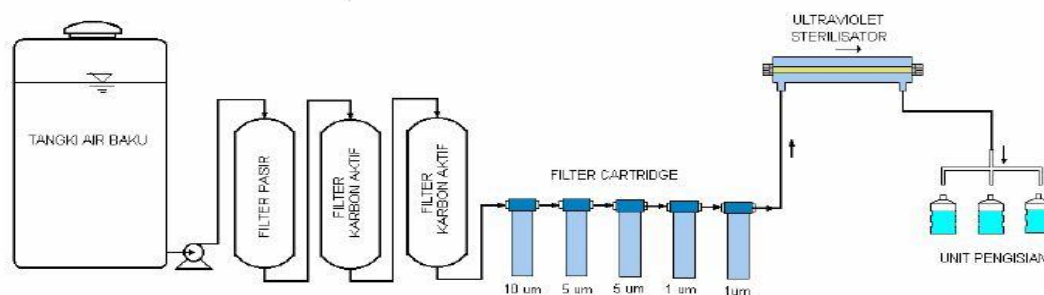
Cartridge filter dapat menyaring padatan atau kekeruhan sampai dengan ukuran 1 mikron. Sehingga, air yang keluar dari cartridge filter sudah jernih. Cartridge filter diperlukan apabila air baku yang telah melewati proses oksidasi, penyaringan di filter multi media, penyaringan di filter karbon aktif, dan penyaringan di filter penukar ion, kemungkinan masih membawa kekeruhan yang berasal dari media itu sendiri. Pengolahan lanjutan dari cartridge filter dapat dengan menggunakan unit ultrafiltrasi dan unit reverse osmosis, atau langsung menggunakan ultraviolet sebagai desinfeksi sehingga air hasil olahan sudah layak diminum. Penggantian cartridge filter dilakukan apabila terdapat bercak kotoran pada cartridge dan tekanan pompa naik.

c. Teknologi ultraviolet

Ultraviolet adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 100-400 nm dapat membunuh bakteri tanpa meninggalkan sisa radiasi dalam air. Pradana dan Marsono (2013) menyatakan bahwa sumber sinar ultra violet berasal dari lampu mercury bertekanan rendah berfungsi sebagai pusat energilistrik ultra violet. Lampu tersebut banyak digunakan karena sekitar 85% dari panas lampu adalah monokromatik pada panjang gelombang 253 nm. Lama penyinaran atau kontak merupakan faktor penting dalam desinfeksi air minum. Semakin lama kontak semakin banyak bakteri yang tumbuh. Faktor-faktor yang mempengaruhi daya kerja UV adalah kekeruhan, kontaminasi zat padat, jarak lampu dengan



permukaan air, temperatur, dan jenis mikroorganisme. Lampu ultraviolet diganti setiap 1 tahun sekali. Hal ini berkaitan dengan kemampuan lampu dalam membunuh mikroorganisme yang semakin melemah. Spesifikasi ultraviolet yang berada dipasaran adalah 8 gpm, 12 gpm, dan 12 gpm. Semakin besar spesifikasi UV, maka semakin besar pula panjang gelombang yang dihasilkan. Penyinaran UV berpengaruh pada daya bunuhnya terhadap mikroba. Semakin lama waktu penyinaran semakin banyak mikroba yang akan terbunuh. Rangkaian gambar unit pengolahan menggunakan ultraviolet dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2. 1 Unit Pengolahan Teknologi UV**

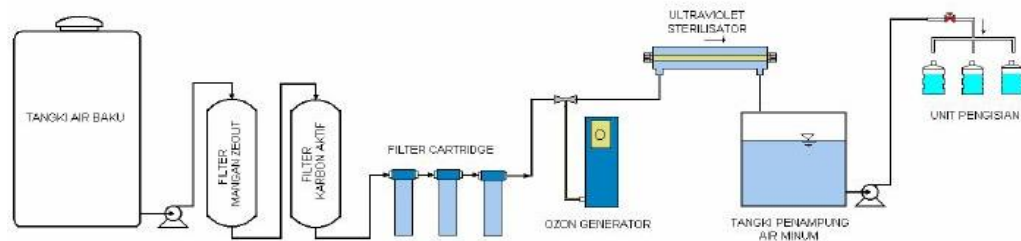
*Sumber: Yudo dan Rahardjo (2005)*

d. Teknologi ozonasi

Ozon merupakan oksidator kuat yang dapat bereaksi dengan cepat hampir dengan semua jenis zat organik, kecuali ion klorida dan amonia yang hanya sedikit bereaksi dengan ozon. Ozon digunakan sebagai desinfektan, menghilangkan bau, warna, dan rasa. Namun kurang efektif bila ditujukan untuk menjaga kualitas air yang terkontaminasi pada jaringan distribusi. Ozoniser adalah suatu unit alat yang menghasilkan arus listrik 5000-20.000 V dan 50-500 Hz dengan mengubah  $O_2$  yang bersih dan kering menjadi ozon ( $O_3$ ). Ozon bersifat bakterisida, virusida, algasida serta mengubah senyawa kompleks menjadi sederhana sehingga setelah proses ozonasi, air minum siap untuk dikonsumsi.

Peraturan menteri kesehatan No. 905 tahun 2002 menyatakan bahwa penggantian ozon generator dilakukan minimal setiap 3 tahun sekali. Proses desinfeksi ozon memerlukan konsentrasi sebanyak 0.1-0.2 mg/L selama 30 menit.

Efektifitas desinfeksi bergantung pada konsentrasi dan waktu kontak tersebut. Rangkaian gambar unit pengolahan menggunakan ozon dan ultra violet dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2 Unit Pengolahan Teknologi Ozon-UV**

*Sumber: Yudo dan Rahrdjo (2005)*

## **2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Air Minum Isi Ulang**

### **2.5.1 Kebersihan (*Hygiene*)**

Menurut Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia No. 651 tahun 2004 tentang Persyaratan Teknis Depo Air Minum dan Perdaganganannya, karyawan yang berhubungan dengan produksi harus dalam keadaan sehat, bebas dari luka, penyakit kulit atau hal lain yang diduga dapat mengakibatkan pencemaran terhadap air minum. Oleh karena itu, semua karyawan dan pelaku bisnis air minum isi ulang diwajibkan selalu menjaga kesehatan tubuh, kebersihan lingkungan sekitar depo, menjaga kebersihan peralatan demi menunjang kualitas air minum. Petugas air minum isi ulang juga harus mematuhi dan melaksanakan SOP yang berlaku pada depo air minum isi ulang tempat bekerja. Hal ini bertujuan agar masyarakat terlindungi dari potensi pengaruh buruk akibat konsumsi air minum dan terhindar dari resiko penularan penyakit yang berasal dari air isi ulang yang terkontaminasi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 43 Tahun 2014 tentang Higiene Sanitasi Depo Air Minum, persyaratan higiene sanitasi dalam pengolahan air minum paling sedikit meliputi aspek:

1. Aspek tempat harus memenuhi persyaratan diantaranya:
  - Lokasi berada di daerah yang bebas dari pencemaran lingkungan dan penularan penyakit.

- Bangunan kuat, aman, mudah dibersihkan, dan mudah pemeliharaannya.
- Lantai kedap air, permukaan rata, halus, tidak licin, tidak retak, tidak menyerap debu, dan mudah dibersihkan, serta kemiringan cukup landai untuk memudahkan pembersihan dan tidak terjadi genangan air.
- Dinding kedap air, permukaan rata, halus, tidak licin, tidak retak, tidak menyerap bau, dan mudah dibersihkan, serta warna yang terang dan cerah.
- Atap dan langit-langit harus kuat, anti tikus, mudah dibersihkan, tidak menyerap debu, permukaan rata, dan berwarna terang, serta mempunyai ketinggian yang memungkinkan adanya pertukaran udara yang cukup atau lebih tinggi dari ukuran tandon air.
- Memiliki pintu dari bahan yang kuat dan tahan lama, berwarna terang, mudah dibersihkan, dan berfungsi dengan baik.
- Pencahayaan cukup terang untuk bekerja, tidak menyilaukan dan tersebar secara merata.
- Ventilasi harus dapat memberikan ruang pertukaran/ peredaran udara dengan baik.
- Kelembaban udara dapat mendukung kenyamanan dalam melakukan pekerjaan/ aktivitas.
- Memiliki akses fasilitas sanitasi dasar, seperti jamban, saluran pelepasan produk air limbah yang alirannya lancar dan tertutup, tempat sampah yang tertutup serta tempat cuci tangan yang dilengkapi air mengalir dan sabun.
- Bebas dari binatang pembawa penyakit seperti lalat, tikus dan kecoa.

2. Aspek perawatan harus memenuhi persyaratan berikut ini:

- Peralatan dan perlengkapan yang digunakan antara lain pipa pengisian air baku, tandon air baku, pompa penghisap dan penyedot, filter, mikrofilter, wadah/ galon air baku atau air minum, kran pengisian air minum, kran pencucian/ pembilasan wadah/ galon, kran penghubung, dan peralatan desinfeksi harus terbuat dari bahan tara pangan (food

grade) atau tidak menimbulkan racun, tidak menyerap bau dan rasa, tahan karat, tahan pencucian dan tahan disinfeksi ulang.

- Mikrofilter dan desinfektor tidak kadaluarsa.
- Tandon air baku harus tertutup dan terlindung.
- Wadah/ galon untuk air baku atau air minum sebelum dilakukan pengisian harus dibersihkan dengan cara dibilas terlebih dahulu dengan air produksi paling sedikit selama 10 (sepuluh) detik dan setelah pengisian diberi tutup yang bersih.
- Wadah/galon yang telah diisi air minum harus langsung diberikan kepada konsumen dan tidak boleh disimpan pada DAM lebih dari 1x24 jam.

3. Aspek penjamah harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Sehat dan bebas dari penyakit menular serta tidak menjadi pembawa kuman patogen (carrier).
- Berperilaku higienis dan saniter setiap melayani konsumen, antara lain selalu mencuci tangan dengan sabun dan air yang mengalir setiap melayani konsumen, menggunakan pakaian kerja yang bersih dan rapi, dan tidak merokok setiap melayani konsumen

### **2.5.2 Perawatan dan Pemeliharaan Peralatan**

Pembersihan alat pada depo air minum isi ulang untuk bak penampungan sebaiknya dibersihkan, disanitasi dan disinfeksi bagian luar minimal 3 bulan sekali. Peralatan yang digunakan dalam proses pengolahan juga dilakukan pembersihan dan pemeliharaan secara berkala minimal 3 bulan sekali. Back washing pada tabung filter perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala karena yaitu sekitar 6 bulan sekali. Kemudian pergantian cartidge filter harus dilakukan minimal 1 bulan sekali agar menghasilkan air minum yang kualitasnya memenuhi syarat sesuai peraturan yang telah.

## 2.6 Emisi Gas Rumah Kaca

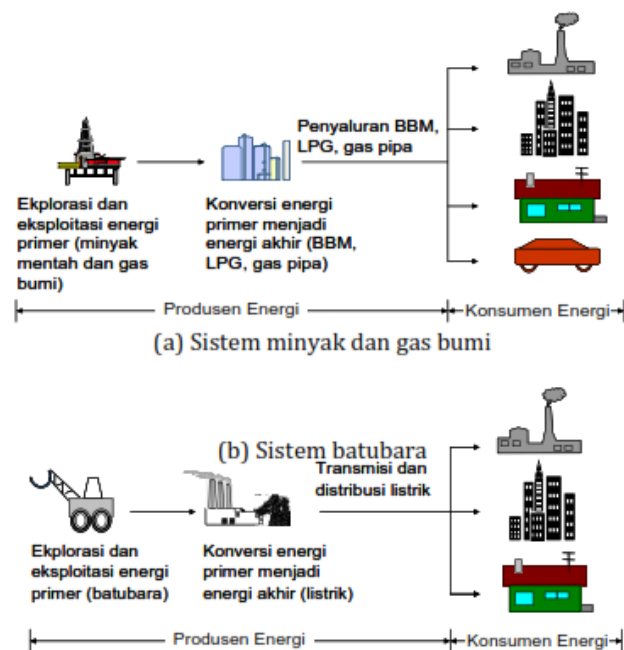
Berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca KLHK (2012) energi merupakan salah satu sektor penting dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK). Cakupan inventarisasi sektor energi meliputi kegiatan penyediaan dan penggunaan energi.

Penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan:

- Eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misal minyak mentah, batubara),
- Konversi energi primer menjadi energi sekunder yaitu energi yang siap pakai (konversi minyak mentah menjadi BBM di kilang minyak, konversi batubara menjadi tenaga listrik di pembangkit tenaga listrik), dan
- Kegiatan penyaluran dan distribusi energi. Kegiatan penggunaan energi meliputi: Penggunaan bahan bakar di peralatan-peralatan stasioner (di industri, komersial, dan rumah tangga), dan peralatan-peralatan yang bergerak (transportasi).

Ilustrasi cakupan inventarisasi GRK sektor energi dapat dilihat pada Gambar

2.3.



**Gambar 2. 3 Ilustrasi cakupan inventarisasi GRK sektor energi**

*Sumber: Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca KLHK (2012)*

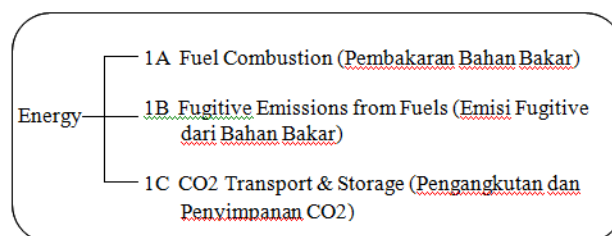
## 2.7 Tipe/Jenis dan Kategori Sumber GRK

Berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca KLHK (2012), jenis GRK yang diemisikan oleh sektor energi adalah CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O. Sumber emisi GRK dari sektor energi diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

- Emisi hasil pembakaran bahan bakar,
- Emisi fugitive pada kegiatan produksi dan penyediaan bahan bakar, dan
- Emisi dari pengangkutan dan injeksi CO<sub>2</sub> pada kegiatan penyimpanan CO<sub>2</sub> di formasi geologi.

Dalam konteks inventarisasi GRK yang dimaksud dengan pembakaran bahan bakar adalah oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Penggunaan bahan bakar di industri yang bukan untuk keperluan energi namun sebagai bahan baku proses (misal penggunaan gas bumi pada proses produksi pupuk atau pada proses produksi besi baja) atau sebagai produk (misal penggunaan hidrokarbon sebagai pelarut) tidak termasuk dalam kategori aktivitas energi.

Emisi fugitive adalah emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi, misalnya operasi flaring dan venting di lapangan migas, kebocoran-kebocoran gas yang terjadi pada sambungan-sambungan atau kerangan-kerangan (valves) pada pipa salur gas bumi dan gas yang terlepas dari lapisan batubara pada kegiatan penambangan batubara. Ilustrasi kategori sumber-sumber utama emisi GRK sektor energi diperlihatkan pada Gambar 2.4.



*Catatan: Kode 1A, 1B, 1C mengikuti kode pengelompokan pada IPCC GL 2006*

**Gambar 2. 4 Kategori sumber-sumber utama emisi GRK sektor energi**  
*Sumber: Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca KLHK (2012)*

## **2.8 Life Cycle Assessment (LCA)**

Menurut Menoufi et al (2011) *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah suatu metode untuk mengidentifikasi, penggunaan energi, penggunaan sumber daya alam, serta mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan di sepanjang siklusnya. Siklus dari suatu produk terdiri dari proses ekstraksi bahan baku, proses produksi bahan, hasil produksi, dan penggunaan hasil produksi sampai proses pelepasan produk dengan dengan pendekatan *cradle to grave* dalam suatu proses penilaian.

Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang akan dihasilkan. Kemudian dilakukan evaluasi dan penilaian dari seluruh proses kegiatan produksi sehingga dapat diketahui apa yang diakibatkan oleh proses produksi suatu produk, jasa, dan kegiatan ekonomi yang berlangsung dengan berjalannya waktu dapat diimbangi dengan usia pakai yang panjang, ada tidaknya manfaat dari penggunaan produk, maka akan diperoleh beberapa alternatif upaya perbaikan untuk peningkatan masing-masing kegiatan dalam menghasilkan suatu produk.

Fase tahapan dari LCA adalah *goal and scope, life cycle inventory, life cycle impact assesment, dan life cycle interpretation*. Fase – fase ini diatur dalam standar ISO, meliputi ISO:14040 tentang prinsip umum LCA, ISO:14041 tentang *inventory dan goal and scope*, ISO:14042 tentang *impact assesment* serta ISO:14043 tentang interpretasi dari LCA.

## **2.9 Tingkatan amatan dalam Life Cycle Assessment**

Tingkatan amatan dalam *Life Cycle Assessment* adalah

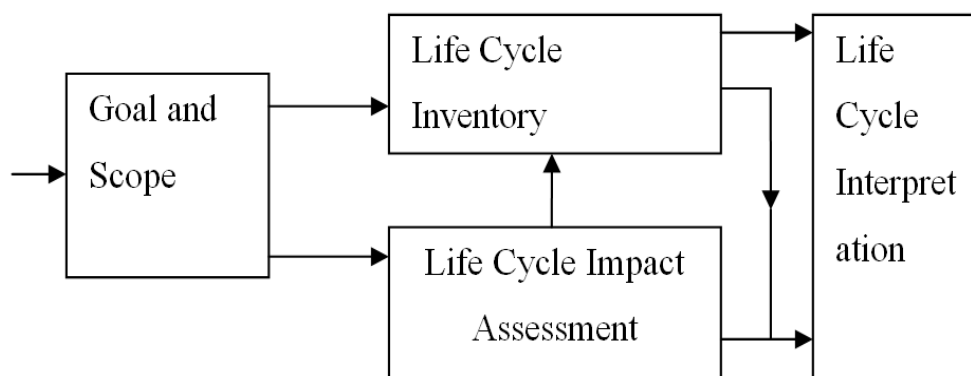
1. Geografis  
Lokasi aktivitas kegiatan industri berpengaruh besar. Teknologi yang digunakan dalam suatu proses produksi yang dilakukan di tempat berbeda maka akan menghasilkan produk berbeda.
2. Ekstraksi bahan baku  
Siklus hidup produk dimulai dengan perpindahan bahan baku dan sumber dari bumi
3. Material processing

Proses yang terjadi adalah penentuan bahan yang dijadikan produk, proses manufaktur dari raw material hingga menjadi produk yang didistribusikan kepada konsumen. Terdapat 3 bagian pada material processing yaitu:

- Material processing yang melibatkan aktivitas yang mengubah raw material menjadi suatu produk.
- Product fabrication pada bagian dimana produk yang sudah jadi sudah siap untuk diisi atau dikemas.
- Filling packaging distribution yang merupakan bagian akhir dan persiapan untuk didistribusikan pada konsumen.
- Produk didistribusikan pada konsumen, seluruh kegiatan yang berhubungan dengan seluruh proses produksi maka waktu turut diperhitungkan.

## 2.10 Tahapan *Life Cycle Assessment (LCA)*

Fase LCA sesuai dengan ISO 14040 yang menitik beratkan pada siklus dari LCA yaitu:



**Gambar 2. 5 Tahapan penyusunan LCA**

Berikut ini adalah tahapan pada LCA

1. *Goal and Scope* merupakan tahap yang bertujuan untuk merumuskan dan menggambarkan tujuan, sistem yang dievaluasi, dan batasan di sepanjang siklus hidup dari sistem yang dievaluasi. Serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA. Metode yang terdapat dalam SimaPro 8.5 dapat di lihat pada Tabel 2.2.



**Tabel 2. 2 Metode pada SimaPro 8.5**

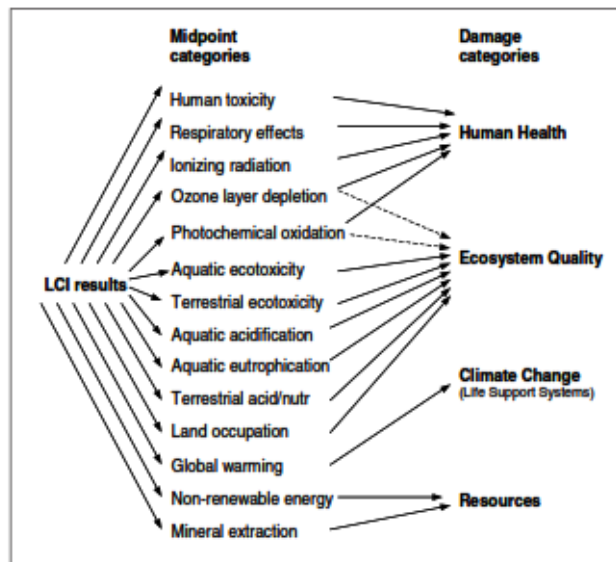
No	Metode	Keterangan
1	CML-IA	Pendekatan titik tengah
2	Ecplogical Scarcity 2013	Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan- emisi polutan dan konsumsi sumber daya
3	EDIP 2003	Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product
4	EPD 2013	Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramah lingkungan
5	EPS 2000	Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas yang diharapkan dari suatu produk pengembangan.
6	Impact 2002+	Metode penilaian dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup
7	ReCiPe	Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan.
8	ILCD 2011 Midpoint+	Penerapan metode koreksi
9	Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)	Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja
10	IPCC 2013	Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun

Sumber: ( Menoufi, 2011)

2. *Life Cycle Inventory* (LCI) merupakan tahap pengumpulan data, perhitungan input dan output ke lingkungan dari proses evaluasi suatu sistem. Tahap ini menginventarisasi penggunaan sumber daya, sumber baku yang digunakan, penggunaan energi dalam suatu proses yang menghasilkan sebuah produk, dan pelepasan produk.
3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) merupakan proses pemberian bobot sesuai dengan tingkat kepentingan kategori. LCIA mempunyai beberapa tahapan yaitu:
  - *Characterization* merupakan tahapan proses input dan output dilakukan penilaian pada kontribusinya dan telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah suatu profil siklus dari sistem yang diamati.
  - *Normalization* merupakan tahapan keseluruhan telah dilakukan penilaian kemudian dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya *valuation* adalah untuk mendapat nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori sehingga memudahkan interpretasi selanjutnya.
  - *Weighting* merupakan metode yang memperbolehkan tahapan pembobotan dalam *impact categories*. Hal ini berarti hasil dari *impact category indicator* akan dikalikan dengan *weighting factor*, dan akan diakumulasikan sebagai *total score*.
  - *Single score* memperlihatkan tiap-tiap proses produksi.
4. *Interpretation* merupakan integrasi dari hasil *life-cycle inventory* dan *life-cycle impact assessment* yang kemudian digunakan untuk mengkaji, menarik kesimpulan, pengambilan keputusan, dan memberikan rekomendasi yang konsisten dengan tujuan dan lingkup yang telah diformulasikan.

### 2.11 Metode Impact 2002+

Metode Impact 2002+ merupakan metode yang mengimplementasikan antara midpoint categories dengan damage categories. Metode ini mempunyai 14 midpoint categories. Skema *Midpoint Categories* pada Metode Impact 2002+ dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6 Skema midpoint categories pada metode Impact 2002+**  
*Sumber: (Jolliet et al., 2003)*

Panah pada gambar skema midpoint categories menunjukkan bahwa jalur dampak yang relevan diketahui atau diasumsikan, pada panah putus-putus menunjukkan bahwa jalur dampak antara midpoint dan damage yang tidak dimodelkan kuantitatif. *Midpoint Categories* merupakan karakteristik awal terhadap dampak yang yang berpengaruh ke lingkungan, yang menunjukkan antara hasil LCI dan kerusakan pada *Damage Categories*. Hasil indicator dampak lingkungan berupa model yang sederhana dari realitas dampak yang sangat kompleks sehingga dapat memperkirakan kualitas lingkungan yang dihasilkan dari sebuah sistem atau unit pengolahan (Jolliet et al., 2003).

Menurut (Jolliet et al., 2003) beberapa unit yang digunakan dalam Impact 2002+ yaitu:

- “Kg substance S<sub>-eq</sub>” (Setara kg zat s referensi)

Unit ini merupakan jumlah dari bahan S yang sama dengan dampak yang dianggap sebagai polutan didalam *Midpoint Categories* misalnya pada Global Warming berpotensi pada skala 100-y menghasilkan fosil metana 27,75 kali lebih tinggi dari CO<sub>2</sub> sehingga CF adalah 27,75 Kg CO<sub>2</sub>-eq.

- “DALY” (*Disability-Adjusted Life Years*)

Unit ini merupakan tingkat dari keparahan suatu penyakit, tahun hidup yang hilang karena kematian prematur dan waktu hidup dengan kualitas yang lebih rendah yang diakibatkan oleh penyakit. Standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik, misalnya suatu produk yang mempunyai nilai kesehatan manusia 4 DALYs menunjukkan bahwa hilangnya 4 tahun hidup diatas keseluruhan populasi.

- “DALY/Kg Chloroethylene” (Potentially Disappeared Fraction of Species over a certain amount of  $m^2$  during a certain amount of year)

Unit ini merupakan ukuran dampak pada ekosistem DALY/Kg Chloroethylene mewakili fraksi spesies menghilang pada 1  $m^2$  pada permukaan bumi selama setahun, misalnya produk mewakili skor kualitas ekosistem 0,3 DALY/Kg Chloroethylene menunjukkan bahwa hilangnya 30% dari spesies atas 1  $m^2$  permukaan bumi selama setahun.

- ‘MJ’ (Mega Joule)

Mengukur jumlah energi yang diekstraksi atau mengekstrak jumlah energi yang dibutuhkan.

## 2.12 Software SimaPro 8.5

Software SimaPro yang digunakan di dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.5. SimaPro digunakan untuk melakukan evaluasi penilaian pada suatu produk disepanjang siklusnya. Data yang diinput ke dalam *software* SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem amatan yang meliputi distribusi bahan baku yang digunakan, proses produksi, produk yang dihasilkan, distribusi produk ke konsumen, dan produk. Hasil dari analisis menggunakan *software* ini nantinya akan mengakumulasi inputan seperti kualitas bahan baku dan produk yang di hasilkan berupa outputan dalam bentuk nilai grafik. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

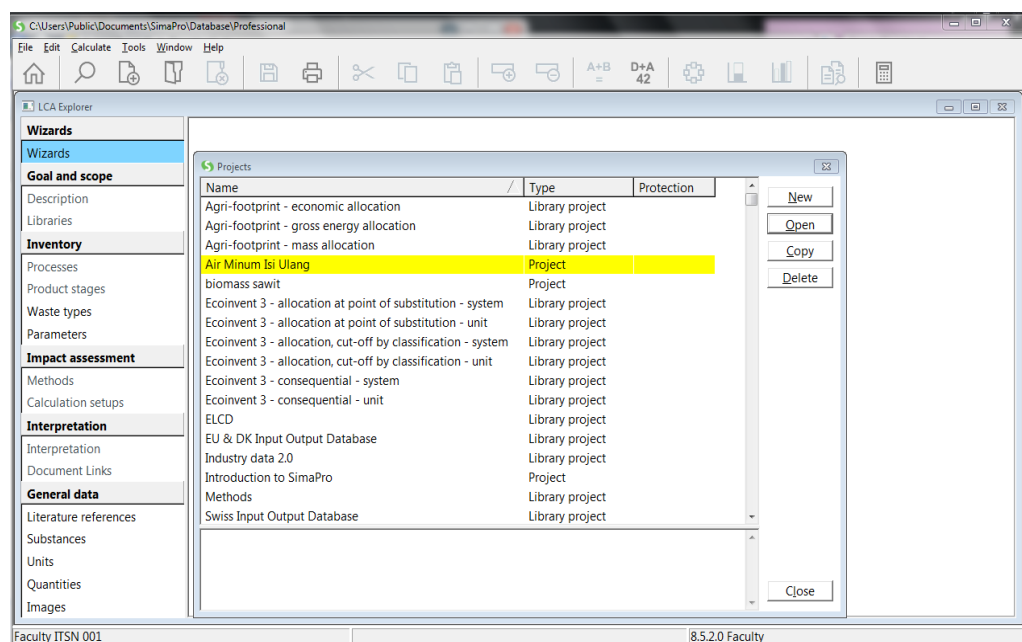
- Bersifat fleksibel
- Dapat digunakan secara *multi-user-version* sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
- Memiliki metode yang beragam

- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asalnya
- Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah AHP
- Hadir dalam 3 versi yang dapat diklasifikasikan berdasarkan pengguna yaitu
  - **SimaPro Compact** : digunakan untuk mengatur tugas kompleks
  - **SimaPro Analyst** : digunakan untuk melakukan pemodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis.
  - **SimaPro Developer** : digunakan untuk pengguna yang ingin mengembangkan dedikasi LCA atau untuk pengguna yang ingin menghubungkan simapro dengan *software* yang lainnya.

SimaPro mempunyai beberapa tahapan yaitu:

#### 1. Menentukan *Goal and Scope*

- *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA
- Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan



**Gambar 2. 7 Penentuan goal**

*Sumber : SimaPro 8.5 Tutorial*



menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup yang sesuai dengan tempat dan bahan yang akan diteliti, misal pada sektor *drinking water* (Jolliet, 2003).

### **2.13 Analytical Hierarchy Process (AHP)**

AHP adalah prosedur yang berbasis matematis yang sangat baik dan sesuai untuk kondisi evaluasi atribut-atribut kualitatif. Atribut-atribut tersebut secara matematik dikuantitatif dalam 1 set perbandingan berpasangan. Kelebihan AHP dibandingkan yang lainnya karena adanya struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai kepada sub-sub kriteria yang paling mendetail (Saaty, 1990). Karena menggunakan input persepsi manusia, model ini dapat mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Jadi kompleksitas permasalahan yang ada di sekitar kita dapat didekati dengan baik oleh model AHP ini.

- Prinsip Kerja Analytical Hierarchy Process (AHP)
- Identifikasi Faktor Penyebab
- Penyusunan Hirarki

Hirarki adalah abstraksi struktur suatu sistem yang mempelajari fungsi interaksi antara komponen dan juga dampak-dampaknya pada sistem. Penyusunan hirarki atau struktur keputusan dilakukan untuk menggambarkan elemen sistem atau alternatif keputusan yang teridentifikasi.

- Penentuan Prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, dilakukan perbandingan berpasangan (pairwise comparison) yaitu membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya pada setiap tingkat hirarki secara berpasangan sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk pendapat kualitatif. Untuk mengkuantifikasikan pendapat kualitatif tersebut digunakan skala penilaian sehingga akan diperoleh nilai pendapat dalam bentuk angka (kuantitatif). Nilai-nilai perbandingan relative kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif.

- Konsistensi

Saaty's AHP juga memberikan pertimbangan terhadap pertanyaan mengenai logika konsistensi dari evaluator. Indeks konsistensi (CI) adalah perhitungan

matematis untuk setiap perbandingan berpasangan---matrik perbandingan. CI ini menyatakan deviasi konsistensi. Kemudian indeks acak (Random index/RI), sebagai hasil dari respon acak yang mutlak dibagi dengan CI dihasilkan rasio konsistensi (CRs). Semakin tinggi CRs maka semakin rendah konsistensi, demikian juga sebaliknya.

- Bobot Prioritas

Hasil perbandingan berpasangan AHP dalam bobot prioritas yang mencerminkan relative pentingnya elemen-elemen dalam hirarki.

## 2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait LCA dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3 Daftar Penelitian Terdahulu**

Judul	Tahun	Isi
Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study (Rocio <i>et al.</i> , 2018)	2018	Hasil LCA menunjukkan bahwa menurut hasil normalisasi, transformasi alami adalah kategori yang paling menonjol, diikuti oleh ekotoksistas daratan dan ekotoksistas air tawar. Sumber terpenting perlindungan lingkungan adalah pembelian layanan baru untuk menggantikan yang lama. Sebaliknya, konsumsi air dan penggunaan bahan kimia untuk dampak pembersihan yang nyaris tidak dibersihkan. Salah satu aspek yang patut diperhatikan adalah efek menguntungkan pada dampak lingkungan yang dihasilkan oleh penjualan ayam tua untuk produksi daging, terutama pada kategori pendudukan tanah perkotaan dan penipisan logam. Selain itu, jejak karbon produksi telur dihitung dan nilai 2,66 kg CO <sub>2</sub> per lusin diperoleh telur. Tindakan perbaikan lingkungan harus diarahkan untuk mengoptimalkan formulasi pakan ayam, tidak hanya dari perspektif ekonomi, tetapi juga mempertimbangkan aspek lingkungan yang terlibat.
Waste water treatment plant	2017	Penilaian siklus hidup (LCA) dari pabrik pengolahan air limbah (WWTP) di kampus universitas di India. Berbagai



Judul	Tahun	Isi
life cycle assessment: treatment process to reuse of water (Smita <i>et al.</i> , 2017)		emisi yang berasal dari IPAL bersama dengan faktor-faktor dampaknya dianalisis menggunakan perangkat lunak LCA Umberto NXT Universal yang menggunakan basis data Eco -invent v3.0. Telah ditemukan bahwa air daur ulang dari pabrik memberikan dampak positif pada kategori yang dinilai. Pengaruh sistem pengolahan mengesampingkan efek air daur ulang dalam kategori lain seperti potensi ekotoksitas terestrial, potensi pemanasan global, pembentukan partikel, potensi penipisan fosil, dll. Namun, efek sosial dari selokan yang tidak dirawat dan efek lingkungan dari kompos yang dihasilkan oleh sistem belum dipelajari.
LCA of greywater management within a water circular economy restorative thinking framework (Sara <i>et al.</i> , 2017)	2017	LCA komparatif dari tiga skenario untuk penggunaan kembali greywater: fotokatalisis, fotokatalisis yang digerakkan oleh surya fotovoltaik dan reaktor biologis membran, untuk membantu pemilihan teknologi yang paling ramah lingkungan. Studi ini telah difokuskan pada penghilangan surfaktan natrium dodecylbenzenesulfonate, yang digunakan dalam formulasi deterjen dan produk perawatan pribadi dan, dengan demikian, banyak terdapat dalam greywater. LCA diterapkan menggunakan metodologi Penilaian Keberlanjutan Lingkungan untuk memperoleh dua indikator lingkungan utama untuk menyederhanakan proses pengambilan keputusan: sumber daya alam dan beban lingkungan. Konsumsi energi adalah kontributor utama kedua indikator karena konsumsi energi yang tinggi dari sumber cahaya untuk pengolahan greywater fotokatalitik. Untuk mengurangi beban lingkungannya, skenario yang paling diinginkan adalah penggunaan cahaya matahari untuk transformasi fotokatalitik. Namun, sementara tantangan teknologi dari penggunaan langsung cahaya matahari didekati, kesesuaian lingkungan dari teknologi fotokatalisis yang digerakkan

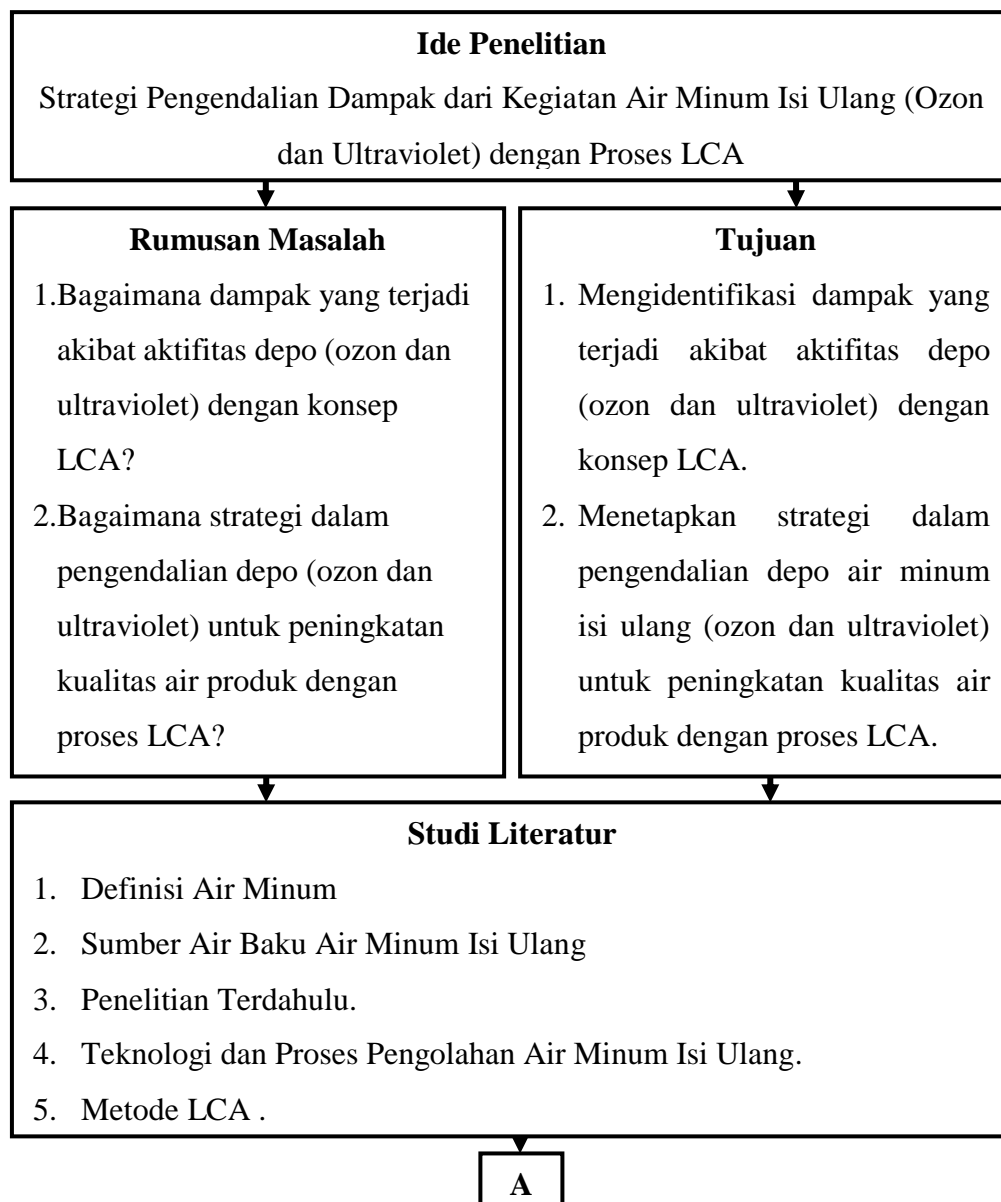
Judul	Tahun	Isi
		oleh energi surya fotovoltaik untuk penggunaan kembali greywater telah ditunjukkan, karena melibatkan dampak lingkungan terkecil di antara tiga alternatif yang diteliti.

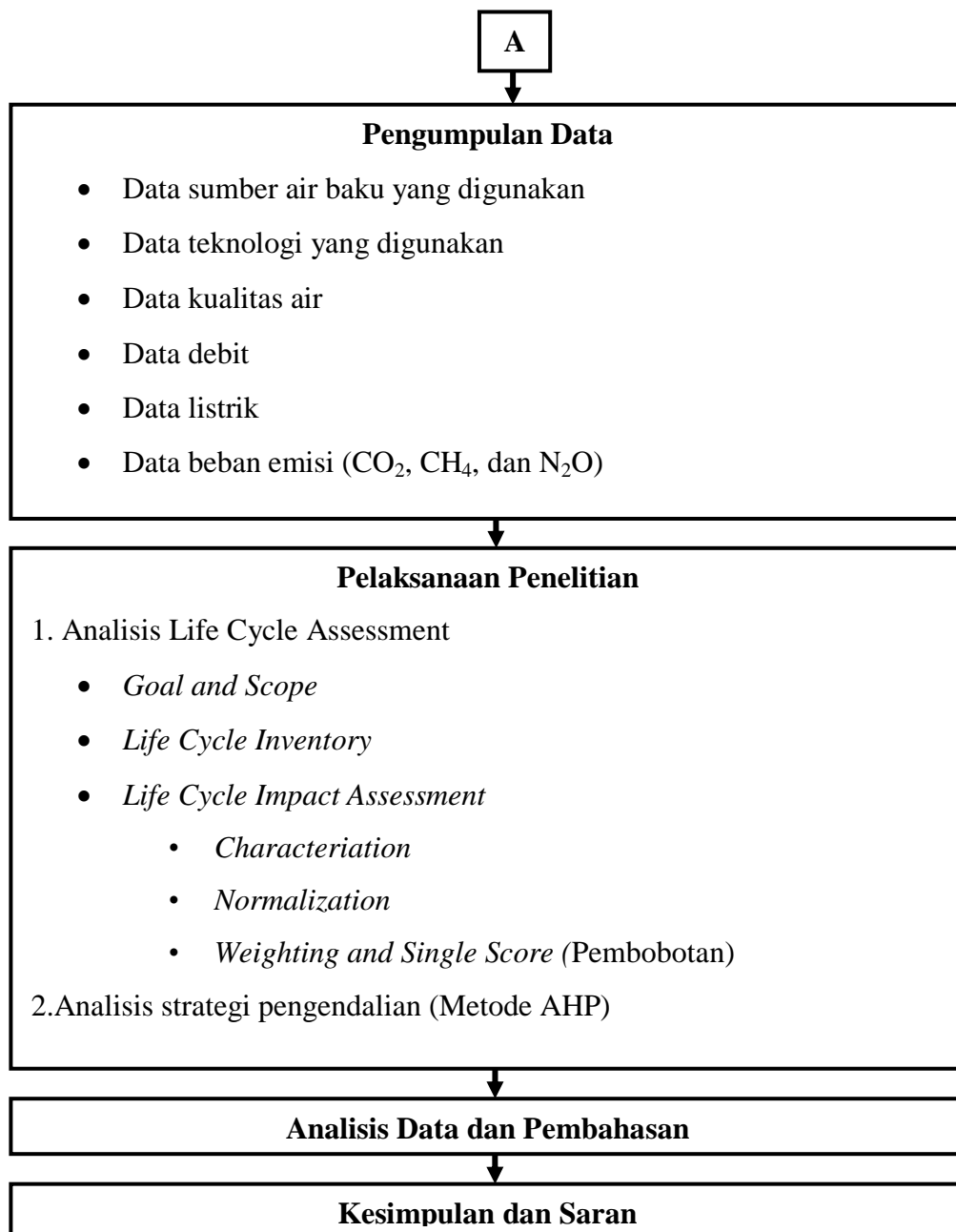
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Penelitian

Metode penelitian digunakan sebagai acuan untuk memudahkan dalam melakukan penelitian. Metode penelitian disajikan dalam bentuk kerangka penelitian yang berisi rangkaian pokok kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian. Kerangka penelitian digunakan untuk menggambarkan langkah kerja yang sistematis dan terencana sehingga kesalahan dapat diminimalisasi. Adapun kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





**Gambar 3. 1 Kerangka penelitian**

### **3.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap pengumpulan data primer, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan penginputan data bahan baku, energy, dan emisi kedalam Software SimaPro 8.5. Seluruh proses pengolahan air akan diketahui

tipe-tipe dampak lingkungan yang ditimbulkan dan fokus pada hasil akhir analisis berupa senyawa yang dihasilkan oleh proses yang kemungkinan berkontribusi terhadap pencemaran udara, kemudian menganalisis strategi pengendalian sebagai alternatif untuk perbaikan pada proses pengolahan air minum isi ulang.

### **3.3 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan dasar teori yang digunakan sebagai acuan untuk menunjang ide penelitian dan menambah pemahaman terkait penelitian mulai dari tahap awal hingga tahap akhir penyusunan laporan.

Sumber literatur yang digunakan berupa peraturan pemerintah, textbook, jurnal penelitian, website, artikel, laporan tugas akhir, laporan tesis, dan seminar yang berkaitan dengan penelitian ini. Literatur yang diperlukan ialah penelitian terdahulu yang terkait dengan topic penelitian, baku mutu yang digunakan, proses pengolahan air, *Life Cycle Assessment (LCA)*.

### **3.4 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang dibutuhkan yaitu data primer. Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan meliputi data sumber air yang digunakan, energi (listrik) yang digunakan, teknologi yang digunakan, dan data kuisisioner yang didapatkan dari instansi pemerintah dan dikaitkan dengan studi literatur. Data tersebut diperlukan untuk memperkuat penelitian.

### **3.5 Analisis Data dan Pembahasan**

Data yang telah dikumpulkan kemudian dimasukkan ke dalam SimaPro 8.5 untuk dapat menganalisis *Life Cycle Assessment (LCA)*. Input data berupa debit sumber air baku, energi listrik yang digunakan pada pemakaian pompa di sumber air pegunungan, data debit air yang masuk ke truk tangki, data pemakaian solar pada mesin diesel truk tangki yang digunakan untuk mengangkut air menuju depo, data energi listrik yang digunakan pada pemakaian pompa menuju tandon, data

debit yang masuk ke tandon, data energi listrik yang digunakan pada pemakaian pompa di mesin pengolahan ultraviolet atau ozon di depo, dan data debit yang masuk ke galon konsumen. Data input kemudian diolah dan menghasilkan dampak lingkungan yang terjadi. Adapun tahap-tahap analisis dalam SimaPro 8.5 adalah sebagai berikut:

1. Penentuan *Goal and Scope*:

Langkah pertama dalam proses analisis siklus hidup di mana produk yang akan dinilai didefinisikan, serta konteks penilaian yang akan dibuat. Langkah ini memiliki pengaruh besar pada dampaknya. Tahap ini banyak parameter yang diidentifikasi, seperti waktu dan sumber daya yang dibutuhkan, tujuan penelitian, aplikasi yang dimaksud, batasan sistem, metodologi penilaian, asumsi-asumsi dan batasan umum. Penelitian ini menggunakan metode Impact 2002+ dengan batasan pada *Impact Assessment* yaitu *Human Toxicity (Carcinogens)*, *Global Warming*, dan *Non Renewable Energy*. Data yang harus dimasukkan terkait deskripsi proses, tujuan proses, praktisi, dan fungsi dari masing-masing teknologi diinput kedalam *Software SimaPro 8.5*.

2. Penentuan *Life Cycle Inventory (LCI)*

Data yang dimasukkan meliputi kesetimbangan material maupun energi yang digunakan selama proses produksi. Data *input* dan *output* dari SimaPro dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Masukan dan Keluaran pada *Life Cycle Inventory***

<b>Input:</b>	<b>Output:</b>
<b>Bahan baku: Air Pegunungan</b>	Produk: Air minum isi ulang
<b>Truk tangki: Solar pada mesin diesel</b>	
<b>Teknologi pengolahan : ozonisasi dan ultraviolet.</b>	
<b>Debit dan energi yang digunakan</b>	

Asumsi-asumsi yang diperlukan dalam perhitungan beban emisi yaitu:

- Mengasumsikan jarak tempuh kendaraan truk dan pemakaian solar
- Menghitung pemakaian listrik

$$\text{Kwh} = (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000$$

- Menghitung emisi CO<sub>2</sub>

Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPPC (2006) = 781,2621 gr/kWh.

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \\ \times \text{jumlah hari penggunaan}$$

- Menghitung konsumsi energi

Mengkonversi satuan fisik ke Terra Joule

Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien nilai kalor =  $36.10^{-6}$  (TJ/liter).

Konsumsi Energi (TJ) = Konsumsi Energi (sat. fisik) x Nilai Kalor (TJ/sat.fisik)

Rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Emisi}_{bb} = \text{FC} \times \text{EF}$$

Dimana : FC = konsumsi energi ; EF = faktor emisi (dapat dilihat pada)

Tabel 3.2

**Tabel 3. 2 Faktor Emisi untuk diesel bahan bakar solar**

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/TJ)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gas/Diesel/Solar	74100	33	3,2

Sumber : Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi GRK Nasional KLH 2012

### 3. Penentuan Life Cycle Impact Assessment

Setelah dilakukan proses input data, dilanjutkan memilih metode yang digunakan untuk siklus hidup suatu produk dan memperkirakan dampak yang terjadi yaitu metode Impact 2002+. Hasil dari analisis berupa diagram pohon yang menunjukkan unit proses mana saja yang berkontribusi paling besar dalam

menghasilkan dampak lingkungan dan hasil tersebut berupa diagram batang yang menunjukkan efek yang ditimbulkan berpengaruh ke lingkungan. Prakiraan dampak dilakukan berdasarkan input dan output. Dampak yang akan diteliti adalah *Human Health* dan *Climate Change*. Penilaian dampak keseluruhan ini akan dihitung sebanyak 4 tahapan, antara lain:

- *Characterization*

Tahap ini melakukan penilaian dampak yang dihasilkan pada suatu proses produksi atau sistem pengolahan yang memiliki kontribusi pada 14 *Impact Category* yang terdapat pada LCA. Pada characterisation akan disajikan nilai prosentase masing masing emisi yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 1 impact category. Tahapan ini akan mengukur kontribusi dampak produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak dengan cara mengalikan tiap zat dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap lingkungan. Faktor kontribusi dampak diwujudkan dengan characterization factor yang terdapat dalam program.

- *Normalization*

Tahap ini melakukan penilaian dengan membandingkan hasil dari *Normalization Indicator* dengan faktor nilai normal. Hal ini bertujuan menyetarakan satuan sesuai ketentuan satuan masing-masing *Impact Category* secara internasional. Seperti pada impact climate change, hasil emisi dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>e.

- *Weighting dan Single Core*

Tahap ini dilakukan secara sekaligus karena single score merupakan hasil dari weighting yang berdasarkan proses kegiatan. Tahap ini yaitu pemberian bobot pada masing-masing kategori dampak. Nilai *Weighting* dan *Single Score* didapat dari hasil perkalian antara *Characterization Factor* dengan *Characterization* masing-masing impact sehingga didapat satuan yang sama yaitu mpt (thousand of eco point) satuan single score. Keluaran dari pembobotan ini yaitu dapat mengetahui dampak paling besar dari suatu unit kegiatan dengan nilai dampak tertentu.



#### 4. Interpretasi Data

Tahap akhir dalam LCA adalah menghasilkan alternatif untuk perbaikan dalam tiap proses produksi. Ada beberapa alternatif yang diajukan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

Analisis dilakukan berdasarkan alternatif hasil pengolahan data pada aplikasi SimaPro 8.5. Beberapa alternatif tersebut dianalisis menggunakan *Tree Diagram* dan *Impact Assessment*. Analisa *Tree Diagram* adalah diagram dalam bentuk kontak-kotak yang mengindikasikan proses didalamnya. Pada diagram ini memperoleh hasil proses mana yang memiliki dampak lingkungan terbesar.

- **Penentuan Strategi dengan Pendekatan AHP**

Analisa dilakukan dari hasil analisis LCA yang menunjukkan dampak terbesar terhadap lingkungan, dimana pendekatan ini menghasilkan beberapa alternatif. Kemudian, melakukan analisa strategi perbaikan dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca yang terjadi. Perbaikan dilakukan untuk meningkatkan nilai lingkungan suatu produk dari setiap proses kegiatan produksi.

### **3.6 Kesimpulan Dan Saran**

Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil data penelitian dan pembahasan kemudian diambil intisari untuk menjawab tujuan yang telah dirumuskan pada awal penelitian dan memberikan bukti ilmiah kepada Pemerintah Kota Surabaya mengenai dampak lingkungan pada siklus hidup proses pengolahan air minum isi ulang dan strategi pengendalian terbaik.

Saran diberikan untuk menyempurnakan hasil dari penelitian sehingga dapat memberikan manfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA)**

Penilaian dampak lingkungan terhadap kegiatan produksi air minum isi ulang dilakukan melalui 4 tahapan yaitu :

##### **4.1.1 Penentuan *Goal* dan *Scope***

Langkah pertama dalam proses analisis siklus hidup di mana produk yang akan dinilai didefinisikan, serta konteks penilaian yang akan dibuat sehingga memiliki pengaruh besar pada dampaknya. Tahap ini banyak parameter yang diidentifikasi, seperti waktu dan sumber daya yang dibutuhkan, tujuan penelitian, aplikasi yang dimaksud, batasan sistem, asumsi-asumsi dan batasan umum. *Goal* penelitian ini yaitu mengidentifikasi dampak apa saja yang ditimbulkan pada setiap proses kegiatan air minum isi ulang dan menilai seberapa besar dampaknya terhadap lingkungan. *Scope* penelitian ini yaitu penggunaan bahan baku air pada kegiatan produksi air minum isi ulang mulai dari pengambilan air dari sumber hingga menjadi produk siap minum, dimana tahap ini asumsi-asumsi dibutuhkan untuk memperkuat hasil penilaian seperti pada saat melakukan uji kualitas air, perhitungan beban emisi, dan ketika proses input data hingga running pada *Software* SimaPro 8.5. Kemudian dilakukan identifikasi dampak apa saja yang timbul dari kegiatan produksi air minum isi ulang dan zat apa saja yang berpengaruh terhadap lingkungan serta seberapa besar kontribusi ke lingkungan. Penilaian ini menggunakan metode Impact 2002+ dengan batasan pada *Impact Assessment* yaitu *Human Toxicity (Carcinogens)*, *Global Warming*, dan *Non Renewable Energy*.

*Human Toxicity* dipilih karena pada kegiatan produksi air minum isi ulang kandungan air (kualitas) didalamnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia, Faktor karakterisasi untuk efek toksikologis kronis pada kesehatan manusia, disebut Potensi Toksisitas Manusia (HTP) di titik tengah- dan Faktor Kerusakan

Manusia (HDF) pada tingkat kerusakan, memberikan perkiraan risiko toksikologis kumulatif dan dampak potensial yang terkait dengan massa tertentu (kg) dari bahan kimia yang dipancarkan ke lingkungan (Jolliet *et al.*, 2003).

*Global Warming* dipilih karena digunakan pada kegiatan produksi air minum isi ulang menghasilkan emisi berupa zat CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O dimana emisi tersebut berasal dari penggunaan bahan bakar pada transportasi pengangkutan air minum isi ulang dan penggunaan listrik pada mesin pompa maupun teknologi penghilang bakteri (UV dan Ozon). Emisi yang lepas ke udara akan berpengaruh terhadap pemanasan global karena semakin lama zat-zat tersebut terlepas ke udara dan terperangkap dilapisan troposfer bumi maka semakin lama akan terjadi penipisan ozon yang mengakibatkan pemanasan global dan terjadi perubahan iklim (Jolliet *et al.*, 2003).

*Non Renewable Energy* dipilih karena pada kegiatan produksi air minum isi ulang menggunakan energi sumber daya alam sebagai bahan baku. Pengambilan sumber daya alam yang terus menerus dilakukan tanpa adanya energi terbarukan yang ramah lingkungan pada setiap kegiatan produksi air minum isi ulang misalnya pengambilan air sumber pegunungan terus menerus, penggunaan bahan bakar minyak solar, dan penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan baku listrik yang semakin lama akan semakin sedikit hingga habis maka akan mempengaruhi kesetimbangan lingkungan (Jolliet *et al.*, 2003).

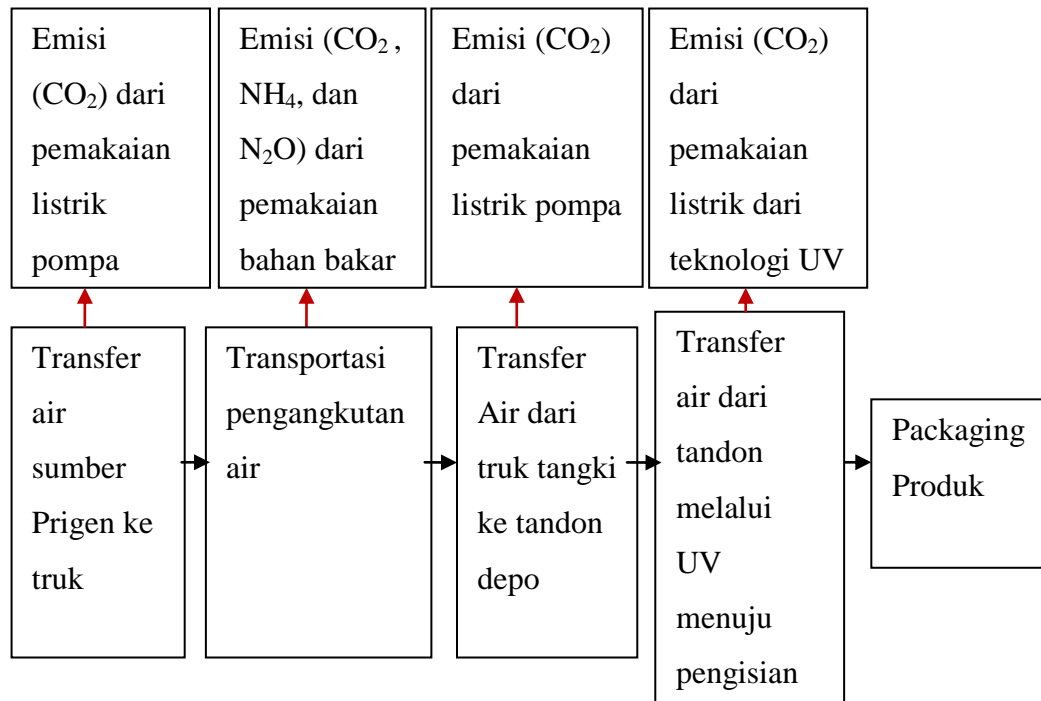
## **4.2 Penentuan Life Cycle Inventory (LCI)**

Penentuan LCI dimulai melakukan penilaian hasil uji kualitas air, debit, energi, maupun besar emisi yang dikeluarkan. Selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya dampak dan komponen lingkungan yang dipengaruhi dampak dengan menggunakan *Software SimaPro 8.5*.

### **4.2.1 Identifikasi Dampak**

Berdasarkan proses produksi air minum isi ulang, teknologi yang digunakan digolongkan dalam 2 teknologi yaitu teknologi menggunakan ultraviolet dan ozon. Kegiatan proses produksi terdiri dari kegiatan transfer air di sumber menuju

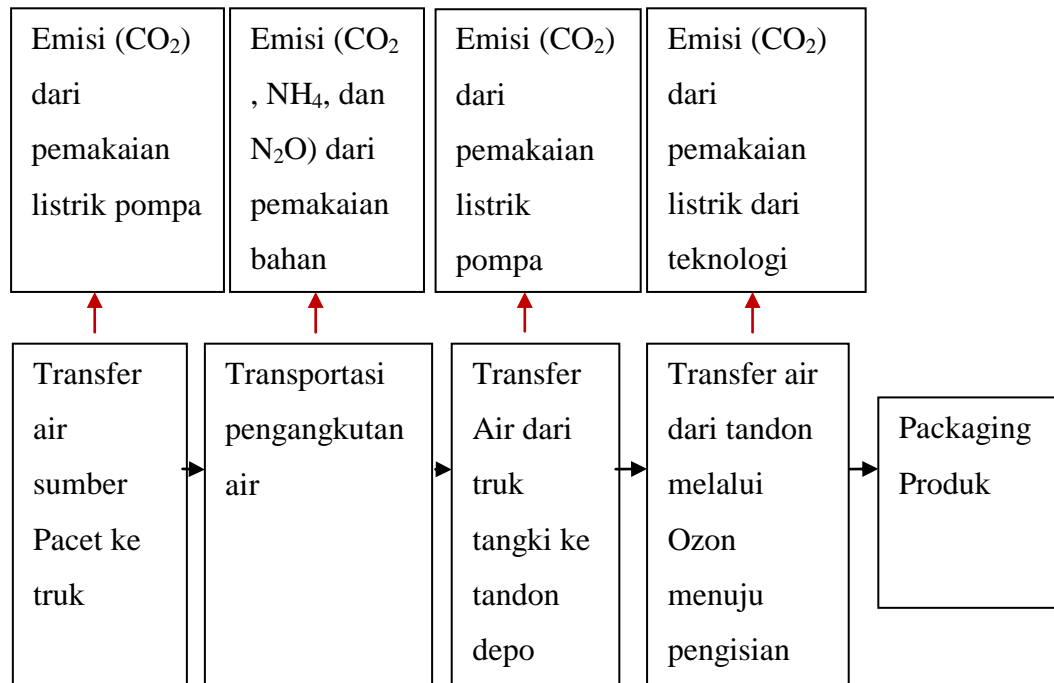
truk tangki, transportasi pengangkutan air, transfer air dari truk tangki ke tandon depo, transfer air dari tandon melalui UV/Ozon menuju pengisian galon hingga menjadi produk. Identifikasi dampak tiap kegiatan pada depo ultraviolet dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan identifikasi dampak tiap kegiatan pada depo ozon dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 1 Identifikasi dampak pada depo ultraviolet**

Identifikasi dampak dari kegiatan produksi air minum isi ulang dengan teknologi ultraviolet dengan sumber air Prigen yaitu pada kegiatan transfer air dari sumber Prigen kedalam wadah truk tangki air menggunakan pompa dimana proses pemompaan ini menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari pemakaian listrik pada pompa. Setelah dilakukan transfer air kedalam truk tangki air tersebut kemudian diangkut menuju depo air isi ulang, dimana pada kegiatan transportasi pengangkutan air menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O akibat dari pemakaian bahan bakar solar truk tangki. Pada saat di depo air minum isi ulang terjadi kegiatan transfer air yang diangkut truk tangki dialirkan menuju tandon penampungan air minum dengan menggunakan pompa dimana proses pemompaan ini menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari

pemakaian listrik pada pompa. Selanjutnya air yang ditampung dalam tandon tersebut dialirkan menuju wadah pengisian galon (packaging produk) didalam kegiatan tersebut dilakukan proses penghilangan bakteri dengan menggunakan teknologi ultraviolet, dimana pada kegiatan tersebut menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari pemakaian listrik penggunaan teknologi ultraviolet.



**Gambar 4. 2 Identifikasi dampak depo ozon**

Identifikasi dampak dari kegiatan produksi air minum isi ulang dengan teknologi ozon dengan sumber air Pacet yaitu pada kegiatan transfer air dari sumber Prigen kedalam wadah truk tangki air menggunakan pompa dimana proses pemompaan ini menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari pemakaian listrik pada pompa. Setelah dilakukan transfer air kedalam truk tangki air tersebut kemudian diangkut menuju depo air isi ulang, dimana pada kegiatan transportasi pengangkutan air menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O akibat dari pemakaian bahan bakar solar truk tangki. Pada saat di depo air minum isi ulang terjadi kegiatan transfer air yang diangkut truk tangki dialirkan menuju tandon penampungan air minum dengan menggunakan pompa dimana proses pemompaan ini menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari pemakaian

listrik pada pompa. Selanjutnya air yang ditampung dalam tandon tersebut dialirkan menuju wadah pengisian galon (packaging produk) didalam kegiatan tersebut dilakukan proses penghilangan bakteri dengan menggunakan teknologi ozon, dimana pada kegiatan tersebut menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> akibat dari pemakaian listrik penggunaan teknologi ozon.

Air baku yang diambil dari sumber Prigen dan Pacet dipompa kedalam truk tangki, dalam pemakaian pompa menghasilkan emisi ke udara dari penggunaan energi listrik, kemudian diangkut menggunakan truk tangki air menuju ke depo air minum isi ulang (selama proses pengangkutan pada truk tangki menghasilkan emisi ke udara, pada saat di depo air minum isi ulang terdapat kegiatan pemompaan air dari dalam truk tangki menuju tandon dimana pemompaan menggunakan energi listrik yang menghasilkan emisi ke udara, dari tandon air tersebut dipompa menuju tempat pengisian galon melalui teknologi ultraviolet dan ozon dimana kegiatan ini menghasilkan emisi ke udara. Emisi udara yang dihasilkan selama kegiatan berlangsung yaitu CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Dimana zat-zat pencemar udar tersebut menghasilkan dampak ke lingkungan. Sehingga dampak lingkungan yang dipilih disesuaikan dengan zat pencemar yang berpengaruh besar ke dalam lingkungan.

#### 4.2.2 Pengumpulan Data dan Asumsi- Asumsi

Pertama, melakukan pengumpulan data pada depo air isi ulang. Hasil wawancara dapat dilihat pada Tabel 4.1.

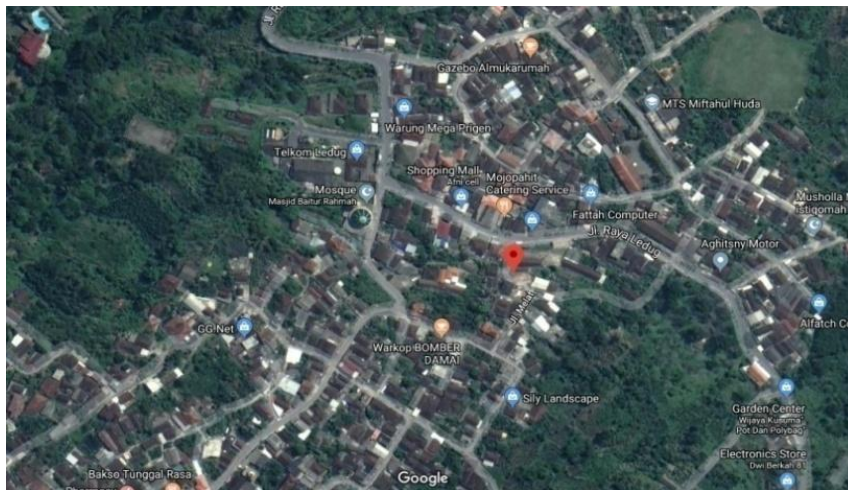
**Tabel 4. 1 Data Sumber Air dan Teknologi yang Digunakan**

Depo	Teknologi Depo	Sumber air	Kecamatan	Pemeriksa	Jadwal Pemeriksaan
A	Filtrasi + UV	Prigen	Rungkut	Puskesmas dan Dinas Kesehatan	3 bulan sekali
B	Filtrasi+ ozon	Pacet	Gubeng	Puskesmas dan Dinas Kesehatan	3 bulan sekali

Pada penelitian ini sumber air baku yang digunakan oleh pelaku usaha air minum isi ulang adalah air pegunungan yang terletak di Prigen dan Pacet Jawa Timur.

- **Sumber Air Prigen**

Sumber air ini berada dekat dengan pemukiman masyarakat, fasilitas umum dan banyak aktifitas yang terjadi disekitar sumber air Prigen. Lokasi sumber Prigen terletak di jl Melati, dimana di sepanjang jalan ini banyak terdapat supplier air minum untuk masyarakat baik untuk diminum, cuci, mandi, dll. Lokasi sumber air Prigen dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.

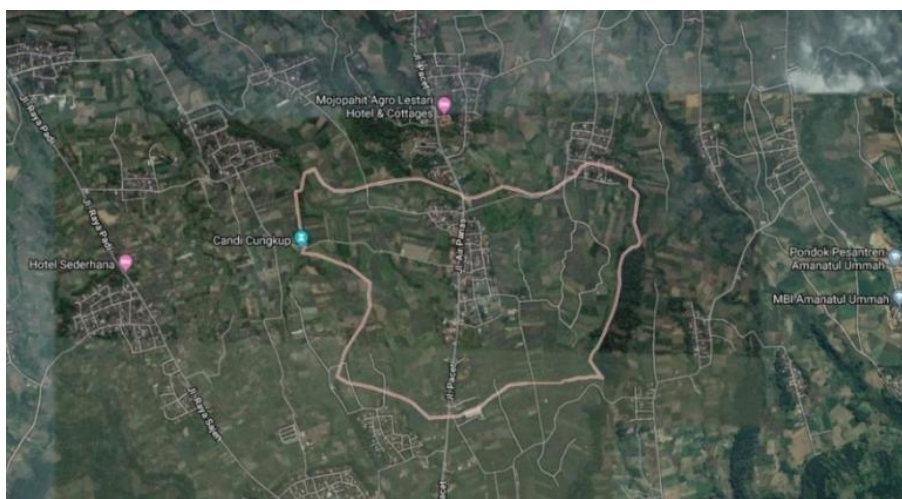


**Gambar 4. 3 Lokasi sumber air Jl. Melati, Prigen Jawa Timur**

- **Sumber Air Pacet**

Sumber air ini berada dekat dengan pemukiman masyarakat, fasilitas umum, lahan pertanian, peternakan sapi, dan peternakan kelinci serta banyak aktifitas yang terjadi disekitar sumber air Prigen. Lokasi sumber Pacet terletak di Desa Jamur, Desa Sumberan, Desa Petak, dan Desa Kembang Sore. Lokasi sumber air di salah satu desa di Pacet dapat dilihat pada Gambar 4.4.





**Gambar 4. 4 Sumber air di Desa Kembang Sore-Pacet, Jawa Timur**

Kemudian melakukan pengumpulan data uji kualitas air pada setiap proses air minum isi ulang. Hasil uji kualitas air dapat dilihat pada Tabel 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5.

**Tabel 4. 2 Hasil Uji Kualitas Air di Sumber Pegunungan**

Kode Depo	Teknologi Depo	Sumber Air	Kecamatan	Parameter			
				TDS	Kekeruhan	pH	Total Koliform
A	Filtrasi + UV	Prigen	Rungkut	99,2	0,36	6,14	350
B	Filtrasi+ozon	Pacet	Gubeng	90	0,45	7	470

Berdasarkan Tabel 4.2 hasil uji kualitas air sumber pegunungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada sumber Prigen maupun Pacet dengan parameter TDS, kekeruhan, pH masih memenuhi baku mutu yang disyaratkan untuk air minum sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI No . 492 / MENKES / PER / 2010 tetapi pada parameter *Total Coliform* hasil uji menunjukkan bahwa sumber air Prigen sebesar 350 dan sumber air Pacet sebesar 470 dimana hasil tersebut masih belum memenuhi syarat baku mutu air minum yang diwajibkan yaitu 0.

**Tabel 4. 3 Hasil Uji Kualitas Air didalam Truk Tangki**

Kode Depo	Teknologi Depo	Sumber Air	Kecamatan	Parameter			
				TDS	Kekeruhan	pH	Total Koliform
A	Filtrasi + UV	Prigen	Rungkut	112	0,36	6,85	440
B	Filtrasi+ozon	Pacet	Gubeng	90	0,42	7,05	480

Berdasarkan Tabel 4.3 hasil uji kualitas air yang berada dalam wadah truk tangki air yang diangkut dari sumber Prigen maupun Pacet menuju depo menunjukkan bahwa pada parameter TDS, kekeruhan, pH masih memenuhi baku mutu yang disyaratkan untuk air minum sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI No . 492 / MENKES / PER / 2010 tetapi pada parameter *Total Coliform* hasil uji menunjukkan bahwa sumber air Prigen sebesar 440 dan sumber air Pacet sebesar 480 dimana hasil tersebut masih belum memenuhi syarat baku mutu air minum yang diwajibkan yaitu 0.

**Tabel 4. 4 Hasil Uji Kualitas Air didalam Tandon**

Kode Depo	Teknologi Depo	Sumber Air	Kecamatan	Parameter			
				TDS	Kekeruhan	pH	Total Koliform
A	Filtrasi + UV	Prigen	Rungkut	114	2,13	6,6	500
B	Filtrasi+ozon	Pacet	Gubeng	100	2,51	6,5	480

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil uji kualitas air yang telah diangkut truk tangki dari sumber Prigen maupun Pacet menuju depo kemudian ditampung dalam tandon air menunjukkan bahwa pada parameter TDS, kekeruhan, pH masih memenuhi baku mutu yang disyaratkan untuk air minum sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI No . 492 / MENKES / PER / 2010 tetapi pada parameter *Total Coliform* hasil uji menunjukkan bahwa sumber air Prigen sebesar 500 dan sumber

air Pacet sebesar 480 dimana hasil tersebut masih belum memenuhi syarat baku mutu air minum yang diwajibkan yaitu 0.

**Tabel 4. 5 Hasil Uji Kualitas Air Setelah Pengolahan Teknologi UV dan Ozon**

Kode Depo	Teknologi Depo	Sumber Air	Kecamatan	Parameter			
				TDS	Kekeruhan	pH	Total Koliform
A	Filtrasi + UV	Prigen	Rungkut	115	1,97	6,62	11
B	Filtrasi+ ozon	Pacet	Gubeng	36.3	2,00	6,41	6

Berdasarkan hasil uji kualitas air di sumber, truk tangki, tandon, dan air produksi menunjukkan bahwa pada parameter TDS, kekeruhan, dan pH memperoleh nilai yang masih memenuhi syarat kualitas air yang ditetapkan.

Sedangkan parameter total koliform sebesar 6-500 per 100 ml sampel, dimana hasil uji tersebut masih belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI No.492 / MENKES / PER / 2010 (dapat dilihat pada Tabel 2.1) kualitas air minum pada total koliform yang diwajibkan yaitu 0. Menurut (Ester *et al.*,2011) keberadaan *E.Coli* memberikan bukti bahwa adanya kontaminasi dan deteksi harus diarahkan pada pertimbangan pelaksanaan tindakan lebih lanjut, yang dapat mencakup pengambilan sampel berikutnya dan penelusuran sumber potensial kontaminasi. Total koliform mencakup organism yang dapat bertahan dan berkembang dalam air. Bakteri total koliform dapat ditemukan baik dalam limbah cair maupun air di alam dan mudah berkembang biak disegala kondisi.

Kemudian melakukan pengumpulan data debit, pemakaian solar, dan daya listrik yang digunakan pada setiap proses. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4. 6 Data Debit, Pemakaian Solar, dan Daya Listrik**

	Sumber		Truk Tangki		Tandon		Depo	
Depo	Debit (L/hari )	Listrik (Watt)	Debit (L/hari)	Solar (L/hari)	Debit (L/hari)	Listrik (Watt)	Debit (L/hari)	Listrik (Watt)
Ultra violet	43000	500	8000	17	8000	490	8000	610
Ozon	63000	550	8000	18	8000	550	8000	550

#### 4.2.2.1 Beban Emisi

Dilakukan perhitungan beban emisi pada setiap kegiatan yang terbentuk selama proses produksi berlangsung hingga dihasilkan produk.

#### 4.2.2.2 Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk

Menghitung emisi dari pemakaian energi listrik pada kegiatan transfer air sumber Prigen ke truk. Diasumsikan pemakaian pompa pada saat pengambilan di sumber dipompa ke dalam truk tangki sehari menyala 8 jam. Maka,

$$\text{Kwh} = (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = (500 \times 8 \text{ jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = 4 \text{ Kwh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber Prigen ke dalam truk tangki dengan penggunaan listrik menyala selama 8 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 4 Kwh.

*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPCC (2006) = 781,2621 gr/kWh.*

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \text{jumlah hari penggunaan}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 4 \text{ kWh} \times 8 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= 25000,39 \text{ gr CO}_2 \\ &= \mathbf{25 \text{ KgCO}_2}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber Prigen ke dalam truk tangki dengan penggunaan listrik menyala selama 8 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 4 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 25 kgCO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2.3 Kegiatan Transportasi

Perhitungan emisi pada transportasi:

Diasumsikan: Tipe truk tangki Hino Dutro tahun 2012 dengan kapasitas air 8000 liter ; Jarak Rungkut – Prigen = 61 km; 1 liter solar = 7 km

Maka,

$$\begin{aligned}61 \text{ km} / 7 \text{ km} &= 8,71 \text{ liter solar/hari} \times 2 \text{ (truk tangki pergi pulang)} \\ &= \mathbf{17, 42 \text{ liter}}\end{aligned}$$

*Konversi satuan fisik ke Terra Joule*

Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien nilai kalor=  $36.10^{-6}$  (TJ/liter).

Maka,

Konsumsi Energi (TJ) = Konsumsi Energi (sat. fisik) x Nilai Kalor (TJ/sat.fisik)

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi energi} &= 17 \text{ liter} \times 36.10^{-6} \text{ (TJ/liter)} \\ &= \mathbf{6,12 \times 10^{-4} \text{ TJ}}\end{aligned}$$

Rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Emisi}_{bb} = \text{FC} \times \text{EF}$$

Dimana : FC = konsumsi energi ; EF = faktor emisi (dapat dilihat pada Tabel 4.7)

**Tabel 4. 7 Faktor Emisi untuk diesel bahan bakar solar**

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/TJ)		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gas/Diesel/Solar	74100	33	3,2

*Sumber : Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi GRK Nasional KLH 2012*

Maka,

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= \text{FC} \times \text{EF} \\
 &= 6,12 \times 10^{-4} \times 74100 \\
 &= \mathbf{45,3492 \text{ Kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 &= \text{FC} \times \text{EF} \\
 &= 6,12 \times 10^{-4} \times 33 \\
 &= \mathbf{0,02 \text{ Kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi N}_2\text{O} &= \text{FC} \times \text{EF} \\
 &= 6,12 \times 10^{-4} \times 3,2 \\
 &= \mathbf{1,9584 \times 10^{-3} \text{ Kg}}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa konsumsi energi pada kegiatan transportasi truk tangki yang mengangkut air dari sumber menuju ke depo air minum isi ulang (Prigen-Surabaya-Prigen) maka konsumsi energi pada mesin diesel (bahan bakar solar) mengeluarkan emisi ke udara yaitu 45,3492 KgCO<sub>2</sub>, 0,02 Kg CH<sub>4</sub>, dan 1,9584 x 10<sup>-3</sup> Kg N<sub>2</sub>O.

#### 4.2.2.4 Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo

Diasumsikan pemakaian pompa pada tandon sehari menyala 2 jam.

Maka,

$$\text{Kwh} = (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = (490 \times 2 \text{ jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = 0,98 \text{ Kwh}$$

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \text{jumlah hari penggunaan}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 1 \text{ kWh} \times 2 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= 1562,52 \text{ gr CO}_2 \\
 &= \mathbf{2 \text{ KgCO}_2}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber dari truk tangki kedalam tandon depo air minum isi

ulang dengan penggunaan listrik menyala selama 2 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 0,98 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 2 kgCO<sub>2</sub>.

#### **4.2.2.5 Kegiatan Transfer Air dari Tandon Melalui UV Menuju Pengisian Galon**

Diasumsikan pemakaian listrik pada ultraviolet sehari menyala 8 jam.

Maka,

$$\text{Kwh} = (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = (610 \times 8 \text{ jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = 4,88 \text{ Kwh}$$

*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPPC (2006) = 781,2621 gr/kWh.*

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \text{jumlah hari penggunaan}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 5 \text{ kWh} \times 8 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 31250,48 \text{ gr CO}_2$$

$$= \mathbf{31,25 \text{ KgCO}_2}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon dengan penggunaan listrik menyala selama 8 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 4,88 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 31,25 KgCO<sub>2</sub>.

#### **4.2.2.6 Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk**

Diasumsikan pemakaian pompa pada saat pengambilan di sumber dipompa ke dalam truk tangki sehari menyala 9 jam. Maka,

$$\text{Kwh} = (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = (550 \times 9 \text{ jam}) : 1000$$

$$\text{Kwh} = 4,95 \text{ Kwh}$$

Berdasarkan perhitungan pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber Pacet ke dalam truk tangki dengan penggunaan listrik menyala selama 9 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 4,95 Kwh.

*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPCC (2006) = 781,2621 gr/kWh.*

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \text{jumlah hari penggunaan}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 5 \text{ kWh} \times 9 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 35156,79 \text{ gr CO}_2$$

$$= \mathbf{35 \text{ KgCO}_2}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber Pacet ke dalam truk tangki dengan penggunaan listrik menyala selama 9 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 4,95 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 35 kgCO<sub>2</sub>.

#### **4.2.2.7 Kegiatan Transportasi**

Diasumsikan tipe truk tangki Hino Dutro tahun 2012 dengan kapasitas air 8000 liter ; Jarak Gubeng – Pacet = 62 km; 1 liter solar = 7 km

Maka,

$$62 \text{ km} / 7 \text{ km} = 8,9 \text{ liter solar/hari} \times 2 \text{ (truk tangki pergi pulang)}$$

$$= \mathbf{17, 8 \text{ liter}}$$

*Konversi satuan fisik ke Terra Joule*

*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien nilai kalor= 36.10<sup>-6</sup> (TJ/liter).*

Konsumsi energi (TJ) = Konsumsi Energi (sat. fisik) x Nilai Kalor (TJ/sat.fisik)

$$\text{Konsumsi energi} = 18 \text{ liter} \times 36.10^{-6} \text{ (TJ/liter)}$$

$$= \mathbf{6,48 \times 10^{-4} \text{ Tj}}$$



Rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Emisi}_{bb} = FC \times EF$$

Dimana : FC = konsumsi bahan bakar ; EF = faktor emisi (dapat dilihat pada Tabel 4.7)

Maka,

$$\begin{aligned}\text{EmisiCO}_2 &= FC \times EF \\ &= 6,48 \times 10^{-4} \times 74100 \\ &= \mathbf{48,0168 \text{ Kg}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CH}_4 &= FC \times EF \\ &= 6,48 \times 10^{-4} \times 33 \\ &= \mathbf{0,0213 \text{ Kg}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi N}_2\text{O} &= FC \times EF \\ &= 6,48 \times 10^{-4} \times 3,2 \\ &= \mathbf{2,0736 \times 10^{-3} \text{ Kg}}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa konsumsi energi pada kegiatan transportasi truk tangki yang mengangkut air dari sumber menuju ke depo air minum isi ulang (Pacet-Surabaya-Pacet) maka konsumsi energi pada mesin diesel (bahan bakar solar) mengeluarkan emisi ke udara yaitu 48,0168 KgCO<sub>2</sub>, 0,0213 Kg CH<sub>4</sub>, dan 2,0736 x 10<sup>-3</sup> Kg N<sub>2</sub>O.

#### **4.2.2.8 Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Diasumsikan pemakaian pompa pada tandon sehari menyala 2 jam.

Maka,

$$\begin{aligned}\text{Kwh} &= (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000 \\ \text{Kwh} &= (550 \times 2 \text{ jam}) : 1000 \\ \text{Kwh} &= 1,1 \text{ Kwh}\end{aligned}$$

*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPPC (2006) = 781,2621 gr/kWh.*

Rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \\ &\quad \text{jumlah hari penggunaan} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 1 \text{ kWh} \times 2 \text{ jam} \times 1 \text{ hari} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 1562,5242 \text{ gr CO}_2 \\ &= \mathbf{1,56 \text{ KgCO}_2}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air sumber dari truk tangki kedalam tandon depo air minum isi ulang dengan penggunaan listrik menyala selama 2 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 1,1 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 1,56 kgCO<sub>2</sub>.

#### **4.2.2.9 Kegiatan transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon**

Diasumsikan pemakaian pompa listrik pada Ozon sehari menyala 10 jam. Maka,

$$\begin{aligned}\text{Kwh} &= (\text{watt} \times \text{jam}) : 1000 \\ \text{Kwh} &= (550 \times 10 \text{ jam}) : 1000 \\ \text{Kwh} &= 5,5 \text{ Kwh}\end{aligned}$$

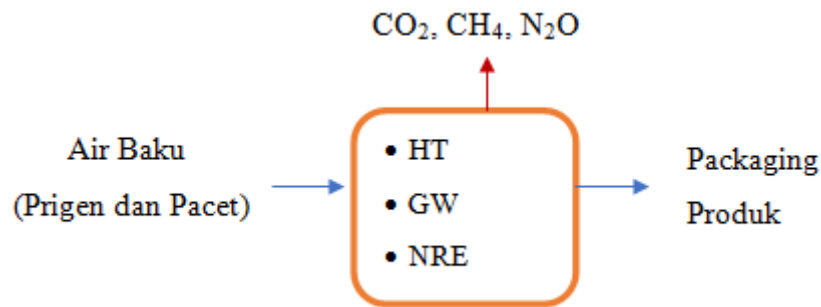
*Berdasarkan Buku Pedoman (GRK KLHK 2012) Koefisien emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia menurut IPCC (2006) = 781,2621 gr/kWh.*

Rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= 781,2621 \text{ gr/kWh} \times \text{Total kWh} \times \text{lama pemakaian dalam jam} \times \\ &\quad \text{jumlah hari penggunaan} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 781,2621 \text{ gr/kWh} \times 6 \text{ kWh} \times 10 \text{ jam} \times 1 \text{ hari} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 46875,73 \text{ gr CO}_2 \\ &= \mathbf{47 \text{ KgCO}_2}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian pompa pada kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon dengan penggunaan listrik menyala selama 10 jam maka energi listrik yang digunakan sebesar 5,5 Kwh mengeluarkan emisi ke udara sebesar 47 KgCO<sub>2</sub>.

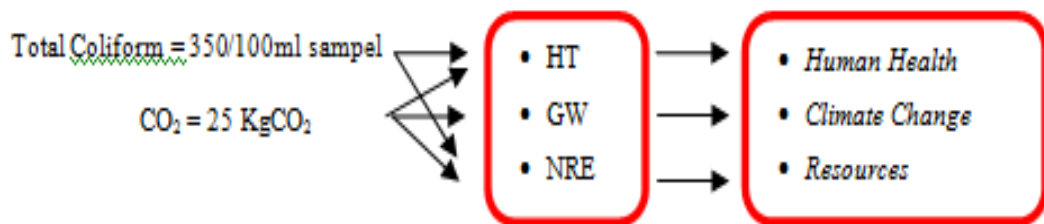
Garis besar tahap penilaian LCI dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Tahap Life Cycle Inventory**

#### 4.2.2.10 LCI Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki

Penentuan LCI berdasarkan hasil uji kualitas air dan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air sumber kedalam truk tangki. LCI pada kegiatan transfer air sumber Prigen kedalam truk tangki dapat dilihat pada Gambar 4.5.



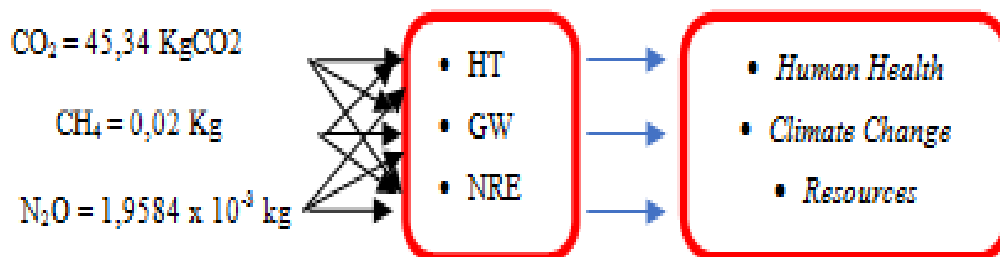
**Gambar 4. 5 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air sumber prigen ke truk tangki**

Dalam proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki menghasilkan emisi sebesar 25 Kg CO<sub>2</sub> yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 4 kwh dengan debit di Sumber sebesar 43000 L/det. Pada penentuan LCI menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang

terkandung dalam air sumber yang belum dilakukan pengolahan dengan baik sehingga berpengaruh terhadap kesehatan manusia kemudian emisi yang dihasilkan dari pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.11 LCI Kegiatan Transportasi Sumber Prigen

Penentuan LCI berdasarkan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi pengangkutan air. LCI pada kegiatan pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4. 6 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transportasi sumber Prigen**

Dalam proses transportasi pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang menggunakan truk tangki dengan tipe Hino tahun 2012 menghasilkan emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 45,34 Kg CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> sebesar 0,02 Kg, dan N<sub>2</sub>O sebesar 1,9584 x 10<sup>-3</sup> kg yang berasal dari pemakaian bahan bakar solar dari mesin diesel truk tangki sebesar 17 L. Emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O tersebut kemudian menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel truk tangki apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker,

hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.12 LCI Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo

Penentuan LCI berdasarkan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air dari truk tangki ke tandon depo. LCI pada kegiatan transfer air dari truk tangki ke dalam tandon depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



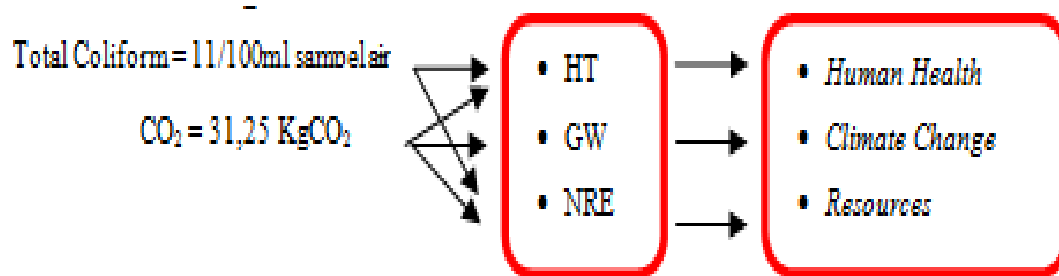
**Gambar 4. 7 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air dari truk tangki ke tandon depo**

Dalam proses transfer air dari truk tangki menuju tandon depo air minum isi ulang menghasilkan emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 2 Kg CO<sub>2</sub> yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 0,98 kwh dengan debit sebesar 8000 L/det. Pada penentuan LCI menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang dibawa oleh truk tangki dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Kemudian emisi yang dihasilkan dari pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global*

*Warming* diakibatkan oleh emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.13 Kegiatan Transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon

Penentuan LCI berdasarkan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon. LCI pada kegiatan transfer air dari tandon depo air minum isi ulang disalurkan melalui UV menuju pengisian galon dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4. 8 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon**

Dalam proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon menghasilkan emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 31,25 Kg CO<sub>2</sub> yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 4,95 kwh dengan debit sebesar 8000 L/det. Pada penentuan LCI menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang ikut terbawa dan terkontaminasi oleh kondisi lingkungan luar kemudian tersimpan didalam tandon dan kemudian dilakukan pengolahan menggunakan UV masih terdapat Total Coliform hal ini dapat disebabkan oleh perlakuan, perawatan dan pembersihan terhadap peralatan keseluruhan selama kegiatan proses produksi berlangsung. Hal ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Selanjutnya emisi yang dihasilkan

dari pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.14 LCI Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki

Penentuan LCI yaitu dengan input data untuk melakukan penilaian dampak lingkungan yang mencakup debit maupun energi yang digunakan. Penentuan LCI berdasarkan hasil uji kualitas air dan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air sumber kedalam truk tangki. LCI pada kegiatan transfer air sumber Pacet kedalam truk tangki dapat dilihat pada Gambar dilihat pada Gambar 4.9.



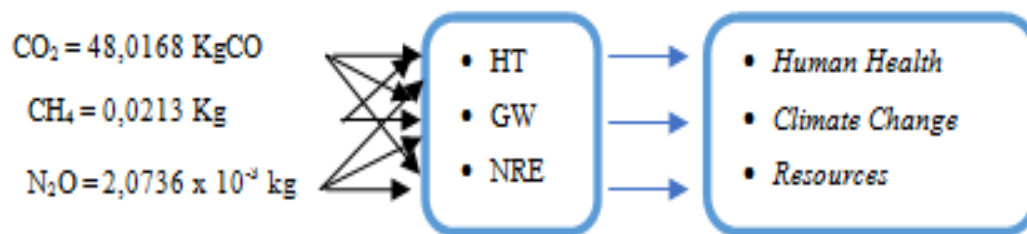
**Gambar 4. 9 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air sumber Pacet ke truk tangki**

Dalam proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki akan menghasilkan emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 35 Kg CO<sub>2</sub> yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 5,95 kwh dengan debit di Sumber sebesar 63000 L/det. Emisi CO<sub>2</sub> tersebut kemudian menghasilkan beberapa dampak. Pada penentuan LCI menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum dilakukan pengolahan dengan baik sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan emisi yang dihasilkan dari

pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia seperti gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi  $\text{CO}_2$  yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.15 LCI Kegiatan Transportasi Sumber Pacet

Penentuan LCI berdasarkan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi pengangkutan air yang berasal dari sumber Pacet menuju depo air minum isi ulang. LCI pada kegiatan pengangkutan air dari sumber Pacet menuju depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4. 10 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transportasi sumber Pacet**

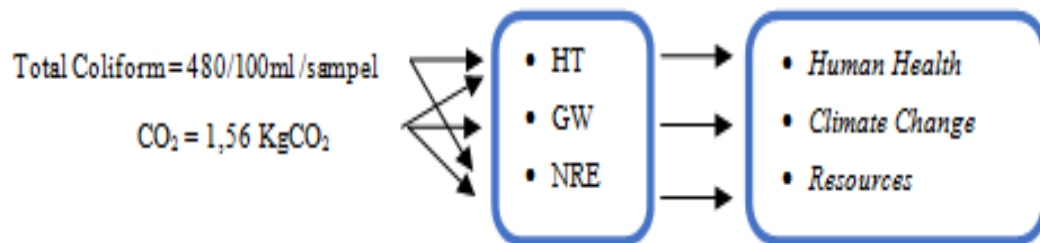
Dalam proses transportasi pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang menggunakan truk tangki dengan tipe Hino tahun 2012 menghasilkan emisi berupa  $\text{CO}_2$  sebesar 48 Kg  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  sebesar 0,0213 Kg, dan  $\text{N}_2\text{O}$  sebesar  $2,0736 \times 10^{-3}$  kg yang berasal dari pemakaian bahan bakar solar dari mesin diesel truk tangki sebesar 18 L. Emisi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$  tersebut kemudian menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel truk tangki apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$



yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.16 LCI Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo

Penentuan LCI berdasarkan hasil uji kualitas air dan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air sumber Pacet yang di angkut oleh truk tangki kemudian dimasukkan kedalam tandon depo. LCI pada kegiatan transfer air sumber Pacet dari truk tangki kedalam tandon depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



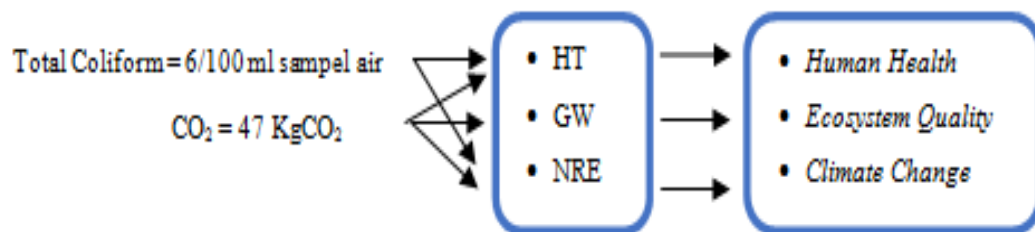
**Gambar 4. 11 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air dari truk tangki ke tandon depo**

Dalam proses transfer air dari truk tangki menuju tandon depo air minum isi ulang menghasilkan emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 1,56 Kg CO<sub>2</sub> yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 1,1 kwh dengan debit sebesar 8000 L/det. Hasil uji kualitas air dan emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan dari kegiatan tersebut kemudian menghasilkan beberapa dampak, seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang dibawa oleh tuk tangki dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Kemudian emisi yang dihasilkan dari pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manuia mulai dari

gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi  $\text{CO}_2$  yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

#### 4.2.2.17 Kegiatan Transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon

Penentuan LCI berdasarkan hasil uji kualitas air dan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon. LCI pada kegiatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12.



**Gambar 4. 12 Life Cycle Inventory (LCI) kegiatan transfer air dari tandon melalui ozon**

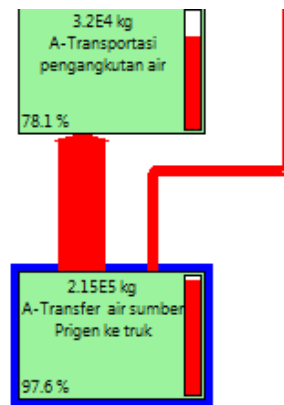
Dalam proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon menghasilkan emisi berupa  $\text{CO}_2$  sebesar 47 Kg  $\text{CO}_2$  yang berasal dari pemakaian energi listrik PLN dari aktifitas pemompaan. Dimana pemakaian energi listrik sebesar 5,5 kwh dengan debit sebesar 8000 L/det. Pada penentuan LCI menghasilkan beberapa dampak seperti *Human Toxicity* yang diakibatkan oleh *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang ikut terbawa dan terkontaminasi oleh kondisi lingkungan luar kemudian tersimpan didalam tandon dan kemudian dilakukan pengolahan menggunakan Ozon masih terdapat *Total Coliform* hal ini dapat disebabkan oleh perlakuan, perawatan dan pembersihan terhadap peralatan keseluruhan selama kegiatan proses produksi berlangsung. Hal

ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Selanjutnya emisi yang dihasilkan dari pemakaian listrik pada mesin pompa semakin lama apabila terhirup oleh manusia dalam jangka panjang juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia mulai dari gangguan pernafasan, kanker, hingga kematian. *Global Warming* diakibatkan oleh emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara yang semakin lama menumpuk dan terperangkap pada lapisan *Troposfer* sehingga membuat suhu bumi meningkat dan dapat menyebabkan perubahan iklim, selanjutnya penggunaan energi yang terus menerus dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam dan kesetimbangan lingkungan.

### **4.3 Penilaian Dampak (Life Cycle Impact Assessment)**

#### **4.3.1 LCIA Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki**

Tahap penilaian ini dilakukan penentuan dampak yang diperoleh dari tahapan Life Cycle Inventory (LCI). Metode yang digunakan dalam penilaian yaitu Metode 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003). Metode ini dipilih karena merupakan metode paling baru dari metode-metode sebelumnya dan *Database* dalam metode ini sangat berkaitan dengan yang akan diteliti yaitu air minum. Penilaian dampak ini membandingkan secara langsung dari hasil tahap LCI kemudian difokuskan pada 3 dampak utama yang tidak terlalu luas dipilih dari 14 kategori dampak yang dihasilkan. Dampak tersebut dipilih berdasarkan kriteria dalam penentuan LCI yang disesuaikan berdasarkan hasil uji kualitas air dan hasil perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi air minum isi ulang. Selanjutnya data-data yang telah diperoleh diinput dengan menggunakan *Software* SimaPro 8.5 dan dilakukan proses *Network Running* berdasarkan Metode Impact 2002+ dan 3 dampak yang telah dipilih kemudian diperoleh hasil pada *Network* berupa diagram pohon. Diagram pohon hasil *network* pada proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki dapat dilihat pada Gambar 4.13.



**Gambar 4. 13 Diagram pohon (*Network*) pada proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.8.

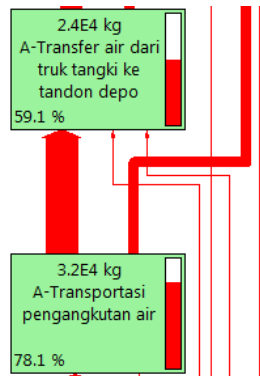
**Tabel 4. 8 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Proses Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,0117
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	53,8
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	153

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,0117 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 53,8 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 153 MJ.

#### 4.3.2 LCIA Kegiatan Transportasi Sumber Prigen

Hasil penilaian tahap LCIA pada kegiatan transportasi pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang disajikan dalam bentuk diagram pohon. Diagram pohon hasil network pada proses pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4. 14 Diagram pohon (*Network*) pada transportasi**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses transfer air sumber prigen ke truk tangki. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4. 9 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* Pada Transportasi**

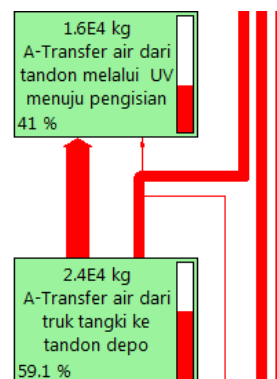
Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,0117
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	99.3
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	153

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang memberikan kontribusi dampak pada

*Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,0117 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 99,3 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 153 MJ.

#### 4.3.3 LCIA Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo

Hasil penilaian tahap LCIA pada kegiatan transfer air dari truk tangki menuju depo air minum isi ulang disajikan dalam bentuk diagram pohon. Diagram pohon hasil network pada proses transfer air sumber Prigen ke truk tangki dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4. 15 Diagram pohon (*Network*) pada proses transfer air dari truk tangki ke tandon depo**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari transfer air dari truk tangki ke tandon depo. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.10.

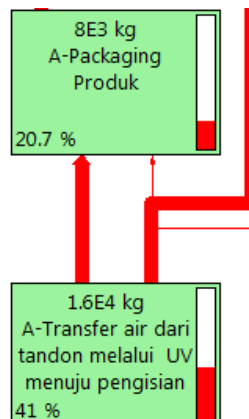
**Tabel 4. 10 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Proses Transfer Air dari Truk Tangki ke tandon Depo**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,0118
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	102
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	166

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air dari truk tangki menuju depo air minum isi ulang memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,0118 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 102 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 166 MJ.

#### 4.3.4 LCIA Kegiatan Transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon

Diagram pohon hasil network pada proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon dapat dilihat pada Gambar 4.16.



**Gambar 4. 16 Diagram pohon (*Network*) pada proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.11.

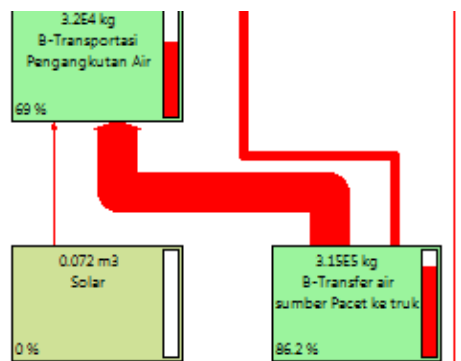
**Tabel 4. 11 Hasil Life Cycle Impact Assessment (LCIA) pada Proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,0126
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	139
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	229

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,0126 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 139 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 229 MJ.

#### 4.3.5 LCIA Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki

Penilaian dampak ini membandingkan secara langsung dari hasil tahap LCI kemudian difokuskan pada 3 dampak utama yang tidak terlalu luas dipilih dari 14 kategori dampak yang dihasilkan. Diagram pohon hasil network pada proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki dapat dilihat pada Gambar 4.17.



**Gambar 4. 17 Diagram pohon (*Network*) pada proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang



dihasilkan dari proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.12.

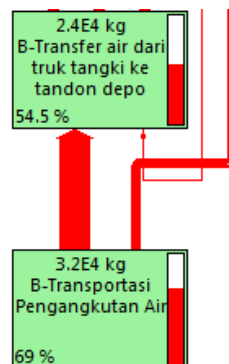
**Tabel 4. 12 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Proses Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,000791
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	40,7
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	63,1

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,000791 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 40,7 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 63,1 MJ.

#### 4.3.6 LCIA Kegiatan Transportasi Sumber Pacet

Hasil penilaian tahap LCIA pada kegiatan transportasi pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang disajikan dalam bentuk diagram pohon. Diagram pohon hasil network pada proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4. 18 Diagram pohon (*Network*) pada transportasi**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi

pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses transfer air sumber Pacet ke truk tangki. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.13.

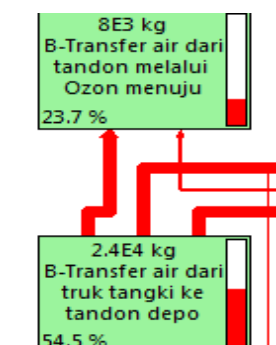
**Tabel 4. 13 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Transportasi**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,000791
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	88,9
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	63,1

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses pada kegiatan transportasi pengangkutan air dari sumber menuju depo air minum isi ulang memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,000791 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 88,9 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 63,1 MJ.

#### 4.3.7 LCIA Kegiatan Transfer Air dari Truk Tangki ke Tandon Depo

Hasil penilaian tahap LCIA pada kegiatan transfer air dari truk tangki menuju depo air minum isi ulang disajikan dalam bentuk diagram pohon. Diagram pohon hasil network pada proses transfer air dari truk tangki ke tandon depo air minum isi ulang dapat dilihat pada Gambar 4.19.



**Gambar 4. 19 Diagram pohon (*Network*) pada proses transfer air dari truk tangki ke tandon depo**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses transfer air dari truk tangki menuju ke tandon depo air minum isi ulang. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.14.

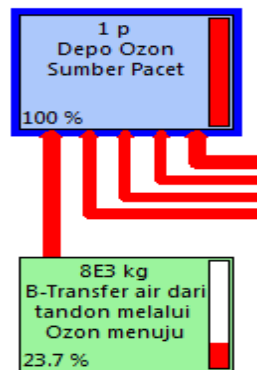
**Tabel 4. 14 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Proses Transfer Air dari Truk Tangki ke tandon Depo**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,000837
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	91,3
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	70,5

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air dari truk tangki menuju depo air minum isi ulang memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,000837 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 91,3 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 70,5 MJ.

#### **4.3.8 LCIA Kegiatan Transfer Air dari Tandon Melalui Ozon Menuju Pengisian Galon**

Diagram pohon hasil network pada proses transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon dapat dilihat pada Gambar 4.20.



**Gambar 4. 20 Diagram Pohon (*Network*) pada proses transfer air dari tandon melalui ozon menuju pengisian galon**

Berdasarkan diagram pohon menunjukkan (*Network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan impact Assessment. Berdasarkan perhitungan berikut ini analisa kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon. Tabel hasil LCIA dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**Tabel 4. 15 Hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada Proses Transfer Air dari Tandon Melalui Ozon Menuju Pengisian Galon**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	0,00112
<i>Global Warming</i>	kg CO <sub>2</sub> eq	141
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	115

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa proses transfer air dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon memberikan kontribusi dampak pada *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 0,00112 DALY/Kg Chloroethylene, *Global Warming* sebesar 141 Kg CO<sub>2</sub> eq, dan *Non Renewable Energy* sebesar 115 MJ.

#### 4.3.9 Analisa Dampak Keseluruhan

Pada pembahasan sebelumnya telah dilakukan *Networking* pada kegiatan transfer air sumber ke truk tangki dan dapat diketahui komponen mana yang menyebabkan beban emisi menjadi tinggi selanjutnya akan dilakukan penilaian terhadap dampak sebanyak 4 tahapan yaitu:

##### 1. *Characterization*

Karakteristik dampak didefinisikan untuk menggambarkan dampak yang disebabkan oleh emisi dan konsumsi sumber daya alam yang diinduksi selama produksi, penggunaan dan pembuangan produk (Joliet *et al.*, 2003).

Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCIA agar menjadi Impact yang dipilih oleh peneliti. Berikut ini adalah nilai *Characterization Factor* beserta rumus yang digunakan dalam perhitungannya. *Characterization Factor* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

**Tabel 4. 16 *Characterization Factor***

Midpoint Category	Damage Factor	Unit
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	0,00000145	DALY/Kg Chloroethylene
<i>Global warming</i>	1	Kg CO <sub>2</sub>
<i>Non renewable energy</i>	45,6	MJ

Rumus Perhitungan:

$$\text{Category Indicator} = \sum_s \text{characterization Factor} \times \text{emission Inventory}$$

Contoh Perhitungan :

- ***Characterization Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki***

$$\begin{aligned} \text{Pada } \textit{Human Toxicity (Carcinogens)} &= 0,00000145 \times 0,0117 \\ &= 1,6965 \times 10^{-8} \text{ DALY/Kg Chloroethylene} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada } \textit{Global Warming} &= 1 \times 53,8 \\ &= 53,8 \text{ Kg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada } \textit{Non renewable energy} &= 45,6 \times 153 \text{ MJ} \\ &= 6976,8 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan *Characterization* pada kegiatan transfer air sumber Prigen kedalam truk tangki dapat dilihat pada Tabel 4.17.

**Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan *Characterization***

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,700 \times 10^{-8}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	53,8
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	6976,8

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,700 \times 10^{-8}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 53,8 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 6976,8 MJ. Penggunaan bahan fosil yang terus menerus dalam jangka panjang mempengaruhi ketersediaan jumlah energi yang tidak terbarukan di bumi semakin sedikit.

- **Kegiatan Transportasi Sumber Prigen**

Hasil Perhitungan *Characterization* pada kegiatan transportasi sumber Prigen dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan *Characterization* Transportasi Sumber Prigen**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,69650 \times 10^{-8}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	99,3
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	6976,8

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,69650 \times 10^{-8}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 99,3 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 6976,8 MJ.

- **Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Hasil Perhitungan *Characterization* kegiatan transfer air Prigen dari truk tangki ke tandon depo dapat dilihat pada Tabel 4.19.

**Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,7110 \times 10^{-8}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	102
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	7569,6

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,7110 \times 10^{-8}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 102 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 7569,6 MJ.

- **Kegiatan Transfer air Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon**

Hasil Perhitungan Characterization dapat dilihat pada Tabel 4.20.

**Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan *Characterization Transfer air Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon***

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,8270 \times 10^{-8}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	139
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	10442,4

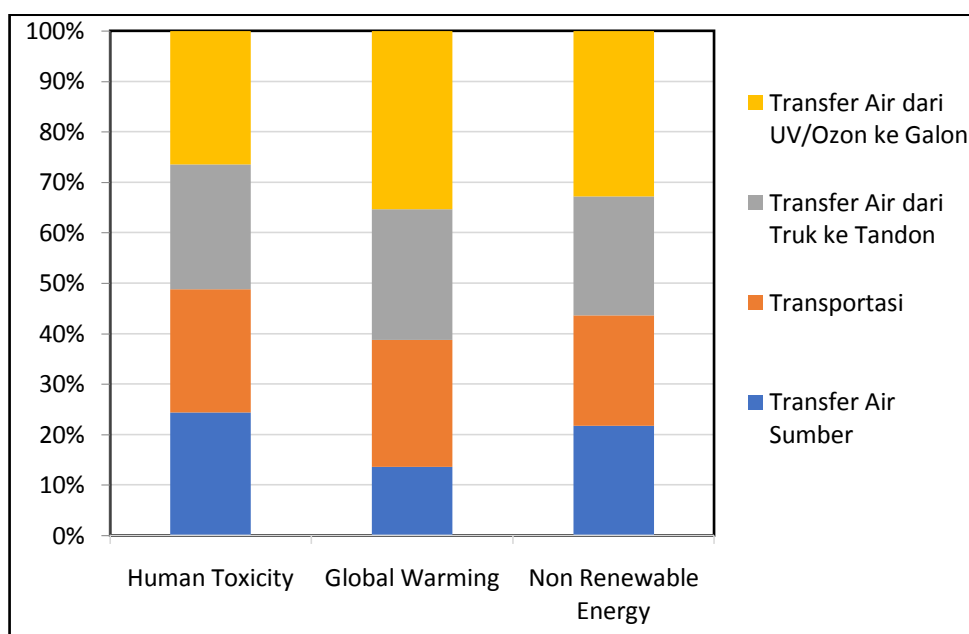
Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,8270 \times 10^{-8}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 139 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 10442,4 MJ. Penggunaan bahan fosil yang terus menerus dalam jangka panjang mempengaruhi ketersediaan jumlah energi yang tidak terbarukan di bumi semakin sedikit.

Kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun disajikan dalam diagram batang keseluruhan kegiatan dapat dilihat pada Gambar 4.21.





**Gambar 4. 21 Diagram *Characterization* seluruh kegiatan pengolahan air minum isi ulang (sumber Prigen dan UV)**

Diagram batang nilai karakteristik dampak seluruh kegiatan produksi air minum isi ulang menunjukkan bahwa pada kegiatan transfer air sumber kedalam truk tangki memperoleh nilai dampak *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 19,2 %, kegiatan transportasi sebesar 19,2%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 19,5%, kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 20,8%. Sedangkan nilai dampak *Global Warming* sebesar 9, 48%, kegiatan transportasi sebesar 17,5%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 18%, kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 24,6%. Kemudian nilai dampak *Non Renewable Energy* sebesar 15,8%, kegiatan transportasi sebesar 15,8%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 17,1%, kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 23,7%.

Berdasarkan hasil perhitungan *Characterization* diagram batang menunjukkan bahwa kegiatan yang paling besar memberikan dampak terhadap lingkungan yaitu pada kegiatan transfer air tandon melalui teknologi UV menuju pengisian galon. Namun, hasil ini masih perlu dilakukan perhitungan *Normalization* untuk menyetarakan dampak dari *Midpoint Category Impact* dengan *End Category Impact*.

- **Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki**

Hasil Perhitungan *Characterization* dapat dilihat pada Tabel 4.21.

**Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan *Characterization Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki***

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,150 \times 10^{-9}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	40,7
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	2877,36

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,150 \times 10^{-9}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 40,7 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 2877,36 MJ. Penggunaan bahan fosil yang terus menerus dalam jangka panjang mempengaruhi ketersediaan jumlah energi yang tidak terbarukan di bumi semakin sedikit.

- **Kegiatan Transportasi Sumber Pacet**

Hasil Perhitungan *Characterization* dapat dilihat pada Tabel 4.22.

**Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan *Characterization Transportasi Sumber Pacet***

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,146950 \times 10^{-9}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	88,9
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	2877,36

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,146950 \times 10^{-9}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 88,9 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 2877,36 MJ. Penggunaan bahan fosil yang terus menerus dalam jangka panjang mempengaruhi ketersediaan jumlah energi yang tidak terbarukan di bumi semakin sedikit.

- **Kegiatan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Hasil Perhitungan Characterization dapat dilihat pada Tabel 4.23.

**Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,213650 \times 10^{-9}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	91,3
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	3214,8

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,213650 \times 10^{-9}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 91,3 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 3214,8 MJ.

- **Kegiatan Transfer air Pacet dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon**

Hasil Perhitungan *Characterization* dapat dilihat pada Tabel 4.24.

**Tabel 4. 24 Hasil Perhitungan Transfer Air tandon melalui Ozon menuju pengisian galon**

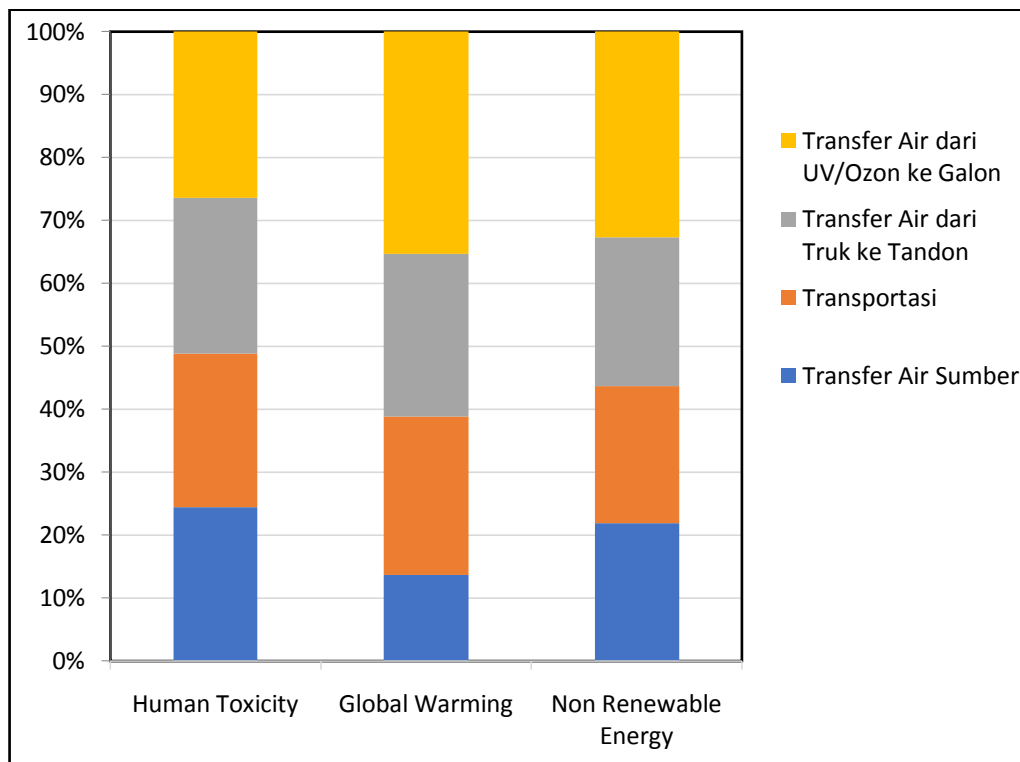
Impact Category	Unit	Hasil
<i>Human Toxicity (Carcinogens)</i>	DALY/Kg Chloroethylene	$1,6240 \times 10^{-9}$
<i>Global Warming</i>	Kg CO <sub>2</sub>	141
<i>Non Renewable Energy</i>	MJ	5244

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Human Toxicity*  $1,6240 \times 10^{-9}$  DALY/Kg Chloroethylene. Dimana pada standar nilai DALY dari 13 dan 1,3 (tahun/insiden) diadopsi untuk sebagian efek karsinogenik dan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada *Global Warming* sebesar 141 KgCO<sub>2</sub>. Penipisan lapisan ozon akibat zat-zat emisi yang terperangkap di lapisan *Troposfer* akibat dari pemakaian listrik pada proses pemompaan dan juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai karakteristik dampak pada sumber daya *Non Renewable Energy* sebesar 5244 MJ.

Kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun disajikan dalam diagram batang keseluruhan kegiatan dapat dilihat pada Gambar 4.22.



**Gambar 4. 22 Diagram *Characterization* sumber Pacet**

Diagram batang nilai karakteristik dampak seluruh kegiatan produksi air minum isi ulang menunjukkan bahwa pada kegiatan transfer air sumber kedalam truk tangki memperoleh nilai dampak *Human Toxicity (Carcinogens)* sebesar 17%, kegiatan transportasi sebesar 17%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 18%, kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 24%. Sedangkan nilai dampak *Global Warming* sebesar 8,1%, kegiatan transportasi sebesar 17,7%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 18,2%, kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 28%. Kemudian nilai dampak *Non Renewable Energy* sebesar 14,8%, kegiatan transportasi sebesar 14,8%, kegiatan transfer air dari truk kedalam tandon sebesar 16,5%, kegiatan transfer air dari tandon melalui ozon menuju pengisian galon sebesar 27%.

Berdasarkan hasil perhitungan *Characterization* diagram batang menunjukkan bahwa kegiatan yang paling besar memberikan dampak terhadap lingkungan yaitu pada kegiatan transfer air tandon melalui teknologi ozon menuju pengisian galon. Namun, hasil ini masih perlu dilakukan perhitungan *Normalization* untuk

menyetarakan dampak dari *Midpoint Category Impact* dengan *End Category Impact*.

## 2. Normalization

Dalam perhitungannya digunakan *Normalization Factor* untuk mengkonversi hasil LCIA agar menjadi Impact yang dipilih oleh peneliti. Berikut ini adalah nilai *Normalization Factor* beserta rumus yang digunakan dalam perhitungannya. *Normalization Factor* dapat dilihat pada Tabel 4.25.

**Tabel 4. 25 Normalization Factor**

Damage Assessment	Normalization factors	Unit
Human Health	0,0077	DALY
Ecosystem Quality	4650	PDF*m2*yr
Climate Change	9950	KgCO2eq
Resources	152000	MJ Primary

Rumus perhitungan:

$$N_k = S_k / R_k$$

Contoh Perhitungan:

### **Normalization Pada Kegiatan Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki**

$$\begin{aligned} \text{Pada Human Health} &= 0,00542 / 0,007 \\ &= 0,703896104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada Ecosystem Quality} &= 9,980 \times 10^{-6} / 4650 \\ &= 2,146240 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada Climate Change} &= 4,110 \times 10^{-3} / 9950 \\ &= 4,130650 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada Resource} &= 0,000415 / 152000 \\ &= 2,730260 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

- **Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki**

Hasil perhitungan *Normalization* pada kegiatan transfer air sumber Pacet ke truk tangki dapat dilihat pada Tabel 4.26.

**Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan *Normalization* Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Pacet ke Truk Tangki**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,00542	0,703896104
<i>Ecosystem Quality</i>	$9,980 \times 10^{-6}$	$2,146240 \times 10^{-9}$
<i>Climate Change</i>	$4,110 \times 10^{-3}$	$4,130650 \times 10^{-7}$
<i>Resource</i>	0,000415	$2,730260 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.26 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Pacet kedalam truk tangki berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.26 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan proses produksi air minum isi ulang dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 0,703896104 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $2,146240 \times 10^{-9}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $4,130650 \times 10^{-7}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $2,730260 \times 10^{-9}$  MJ.

- **Kegiatan Transportasi Sumber Pacet**

Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transportasi Sumber Pacet dapat dilihat pada Tabel 4.27.

**Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transportasi Sumber Pacet**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,0266	3,454545455
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,740 \times 10^{-4}$	$1,879570 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$8,970 \times 10^{-3}$	$9,015080 \times 10^{-7}$
<i>Resource</i>	0,000425	$2,796050 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.27 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transportasi sumber Pacet berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.27 menunjukkan bahwa beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi (pengangkutan air dari sumber Pacet menuju depo air minum isi ulang) dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,454545455 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,879570 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $9,015080 \times 10^{-7}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $2,730260 \times 10^{-9}$  MJ.

- **Kegiatan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Hasil perhitungan *Normalization* kegiatan transfer air pacet dari truk tangki ke tandon depo dapat dilihat pada Tabel 4.28.

**Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer Air Pacet dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,0266	3,454545
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,750 \times 10^{-4}$	$1,881720 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$9,220 \times 10^{-3}$	$9,266330 \times 10^{-7}$
<i>Resource</i>	0,000464	$3,052630 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.28 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Pacet kedalam truk tangki berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.28 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan proses produksi air minum isi ulang dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,454545 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,881720 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $9,266330 \times 10^{-7}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $3,052630 \times 10^{-9}$  MJ.



- **Kegiatan Transfer air Pacet dari tandon melalui Ozon**

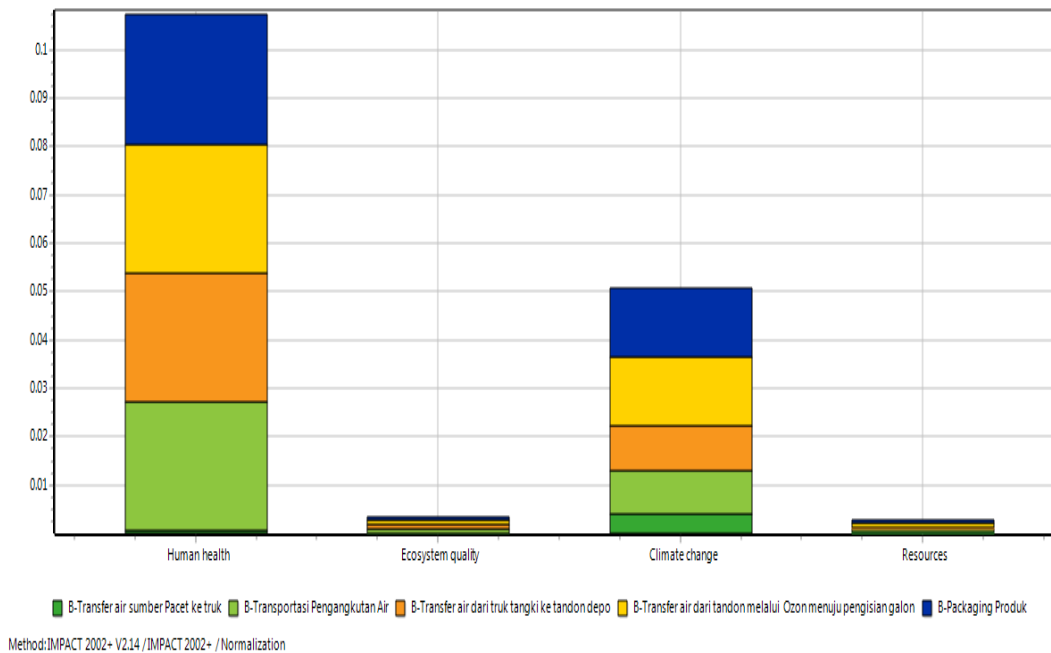
Hasil perhitungan *Normalization* kegiatan transfer air Pacet dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon dapat dilihat pada Tabel 4.29.

**Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer air Pacet dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,0268	3,480519481
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,790 \times 10^{-4}$	$1,890320 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$1,420 \times 10^{-2}$	$1,427140 \times 10^{-6}$
<i>Resource</i>	0,000757	$4,980260 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.29 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Pacet dari tandon melalui ozon menuju pengisian galon berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.28 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan proses produksi air minum isi ulang dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,480519481 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,890320 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $1,427140 \times 10^{-6}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $4,980260 \times 10^{-9}$  MJ.

Hasil perhitungan *Normalization* pada seluruh kegiatan proses produksi air minum isi ulang sumber Pacet dan menggunakan teknologi ozon disajikan dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



**Gambar 4. 23 Diagram *Normalization* sumber Pacet**

Dari hasil *Normalization* seluruh kegiatan proses produksi minum isi ulang sumber Pacet dan menggunakan teknologi ozon didapat bahwa nilai yang paling besar berasal dari dampak *Human Health* dan *Climate Change* hal ini berasal dari kualitas air minum selama proses produksi terutama pada parameter *Total Coliform* apabila dikonsumsi dalam jangka panjang akan menyebabkan penyakit seperti penyakit pencernaan, kanker, hingga kematian. Kemudian pemakaian listrik dan penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel truk tangki juga dapat berkontribusi terhadap kesehatan manusia maupun pencemaran udara yang mengakibatkan perubahan iklim.

- **Kegiatan Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki**

Hasil perhitungan *Normalization* pada kegiatan pada kegiatan transfer air sumber Prigen ke truk tangki dapat dilihat pada Tabel 4.30.

**Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan *Normalization* Pada Kegiatan Transfer Air Sumber Prigen ke Truk Tangki**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,00128	0,166233766
<i>Ecosystem Quality</i>	$3,410 \times 10^{-5}$	$7,333330 \times 10^{-9}$
<i>Climate Change</i>	$5,430 \times 10^{-3}$	$5,457290 \times 10^{-7}$
<i>Resource</i>	0,00101	$6,644740 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.30 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Prigen kedalam truk tangki berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.30 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan pemompaan pengambilan air di sumber dimasukkan kedalam truk tangki dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 0,166233766 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $7,333330 \times 10^{-9}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $5,457290 \times 10^{-7}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $6,644740 \times 10^{-9}$  MJ.

- **Kegiatan Transportasi Sumber Prigen**

Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transportasi Sumber Prigen dapat dilihat pada Tabel 4.31.

**Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transportasi Sumber Prigen**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,0259	3,363636364
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,500 \times 10^{-4}$	$1,827960 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$1,000 \times 10^{-2}$	$1,005030 \times 10^{-6}$
<i>Resource</i>	0,00101	$6,644740 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.31 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transportasi sumber Prigen berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.31 menunjukkan bahwa beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi (pengangkutan air dari sumber Prigen menuju depo air minum isi ulang) dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,363636364 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,827960 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $1,005030 \times 10^{-6}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $6,644740 \times 10^{-9}$  MJ.

- **Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo dapat dilihat pada Tabel 4.32.

**Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer Air Prigen dari Truk Tangki ke Tandon Depo**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,026	3,376623377
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,520 \times 10^{-4}$	$1,832260 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$1,030 \times 10^{-2}$	$1,035180 \times 10^{-6}$
<i>Resource</i>	0,00109	$7,171050 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.32 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Prigen kedalam truk tangki berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.32 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan proses produksi air minum isi ulang dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,376623377 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,832260 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $1,035180 \times 10^{-6}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $7,171050 \times 10^{-9}$  MJ.

- **Kegiatan Transfer air Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon**

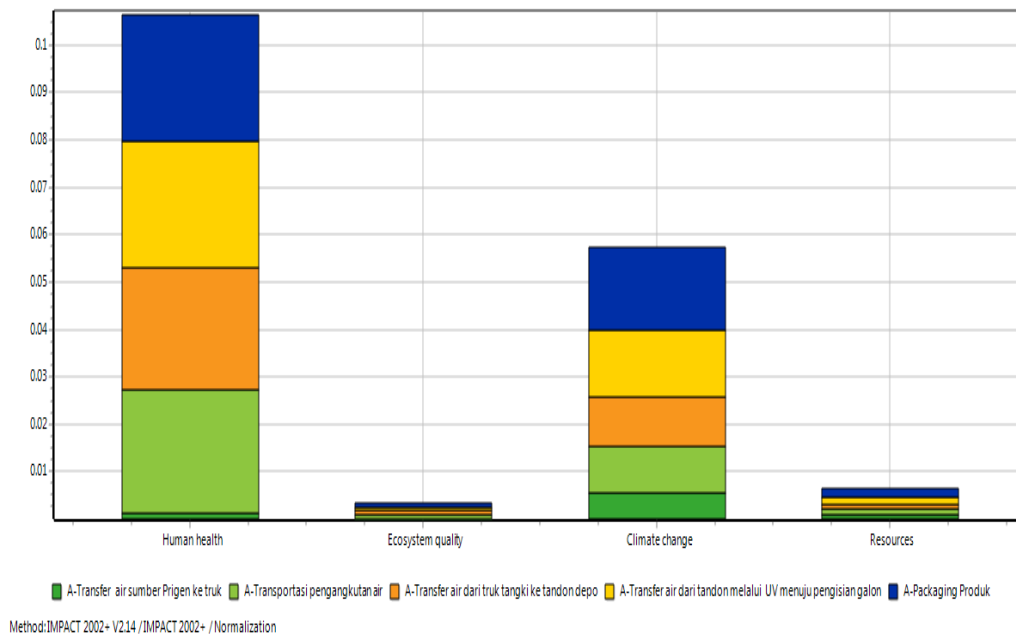
Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer air Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon dapat dilihat pada Tabel 4.33.

**Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan *Normalization* Kegiatan Transfer air Prigen dari tandon melalui Ozon menuju pengisian galon**

<i>Category Impact</i>	<i>Normalization</i>	<b>Hasil</b>
<i>Human Health</i>	0,0265	3,441558442
<i>Ecosystem Quality</i>	$8,620 \times 10^{-4}$	$1,853760 \times 10^{-7}$
<i>Climate Change</i>	$1,410 \times 10^{-2}$	$1,417090 \times 10^{-6}$
<i>Resource</i>	0,0015	$9,868420 \times 10^{-9}$

Berdasarkan Tabel 4.33 diketahui bahwa setiap *Impact Assessment* dari kegiatan transfer air sumber Prigen dari tandon melalui UV menuju pengisian galon berpengaruh terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim, dan sumber daya. Hasil perhitungan pada Tabel 4.32 menunjukkan bahwa *Total Coliform* yang terkandung dalam air sumber yang belum adanya pengolahan serta beban emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan proses produksi air minum isi ulang dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia sebesar 3,480519481 DALY, kualitas ekosistem sebesar  $1,890320 \times 10^{-7}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, perubahan iklim sebesar  $1,427140 \times 10^{-6}$  KgCO<sub>2</sub>eq, dan sumber daya sebesar  $4,980260 \times 10^{-9}$  MJ.

Hasil perhitungan *Normalization* pada seluruh kegiatan proses produksi air minum isi ulang sumber Prigen dan menggunakan teknologi UV disajikan dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar 4.24.



**Gambar 4. 24 Diagram *Normalization* sumber Prigen**

Dari hasil *Normalization* seluruh kegiatan proses produksi minum isi ulang sumber Prigen dan menggunakan teknologi UV didapat bahwa nilai yang paling besar berasal dari dampak *Human Health* dan *Climate Change* hal ini berasal dari kualitas air minum selama proses produksi, pemakaian listrik dan penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel truk tangki dapat berkontribusi terhadap kesehatan manusia maupun pencemaran udara yang mengakibatkan perubahan iklim. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *Human Health* pada kegiatan transfer air dari sumber kedalam truk tangki sebesar 0,00128, pada kegiatan transportasi sebesar 0,0259, pada kegiatan transfer air dari truk tangki kedalam tandon depo sebesar 0,026, pada kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 0,027. Sedangkan nilai *Climate Change* pada kegiatan transfer air dari sumber kedalam truk tangki sebesar 0,00543, pada kegiatan transportasi sebesar 0,01, pada kegiatan transfer air dari truk tangki kedalam tandon depo sebesar 0,0103, pada kegiatan transfer air dari tandon melalui UV menuju pengisian galon sebesar 0,0141.

### 3. Analisis *Weighting* dan *Single Score* (Pembobotan)

Berdasarkan penilaian pembobotan pada depo yang menggunakan Ultraviolet dapat diketahui bahwa nilai dampak berpengaruh pada kesehatan

manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim dan sumber daya. Berdasarkan Gambar 4.24 dampak yang paling tinggi yaitu pada kesehatan manusia. Hasil Pembobotan dapat dilihat pada Tabel 4.34 dan 4.35.

**Tabel 4. 34 Hasil Nilai Keseluruhan Pembobotan pada Depo UV**

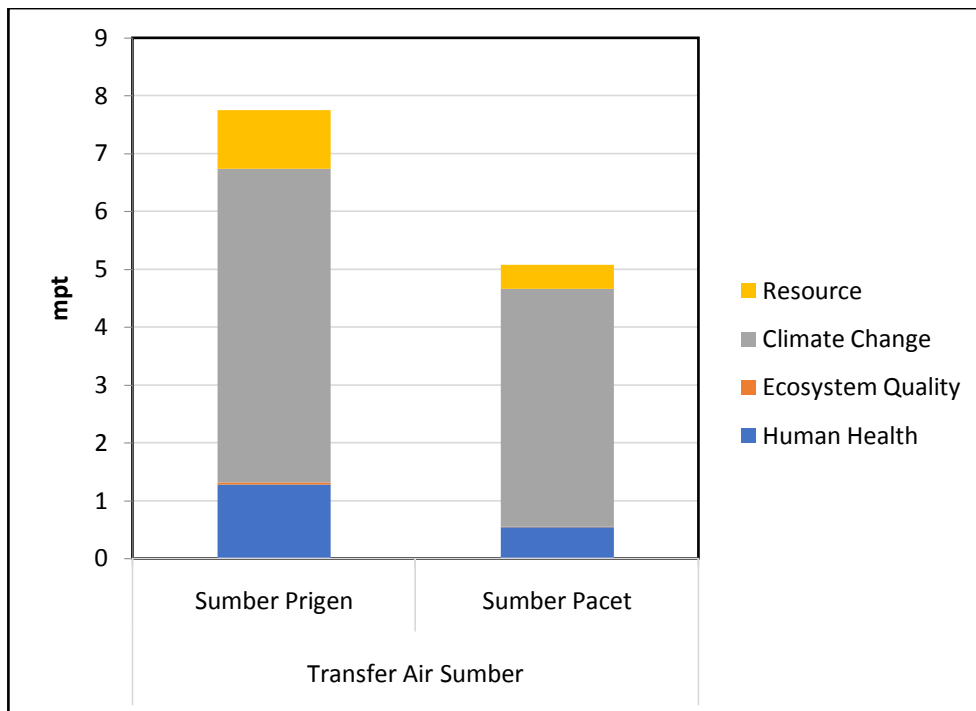
<b>Category Impact</b>	<b>Transfer Air Sumber</b>	<b>Transportasi</b>	<b>Transfer Air dari Truk ke Tandon</b>	<b>Transfer air melalui UV menuju Galon</b>
<i>Human Health</i>	1,28	25,9	26	26,5
<i>Ecosystem Quality</i>	$3,410 \times 10^{-2}$	0,85	0,852	0,862
<i>Climate Change</i>	5,43	10	10,3	14,1
<i>Resource</i>	1,01	1,01	1,09	1,5
<b>Total</b>	<b>7,7541</b>	<b>37,76</b>	<b>38,242</b>	<b>42,962</b>

Berdasarkan penilaian pembobotan pada depo yang menggunakan sumber Prigen dan teknologi ultraviolet dapat diketahui bahwa nilai dampak berpengaruh pada kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim dan sumber daya. Dari Tabel 4.34 menunjukkan bahwa kontribusi yang paling tinggi yaitu terjadi pada kegiatan transfer air melalui UV menuju pengisian galon sebesar 42,962 mpt.

**Tabel 4. 35 Hasil Nilai Keseluruhan Pembobotan pada Depo Ozon**

<b>Category Impact</b>	<b>Transfer Air Sumber</b>	<b>Transportasi</b>	<b>Transfer Air dari Truk ke Tandon</b>	<b>Transver air melalui Ozon menuju Galon</b>
<i>Human Health</i>	0,542	26,6	26,6	26,8
<i>Ecosystem Quality</i>	$9,980 \times 10^{-3}$	0,874	0,875	0,879
<i>Climate Change</i>	4,11	8,97	9,22	14,2
<i>Resource</i>	0,415	0,415	0,464	0,757
<b>Total</b>	<b>5,07698</b>	<b>36,859</b>	<b>37,159</b>	<b>42,636</b>

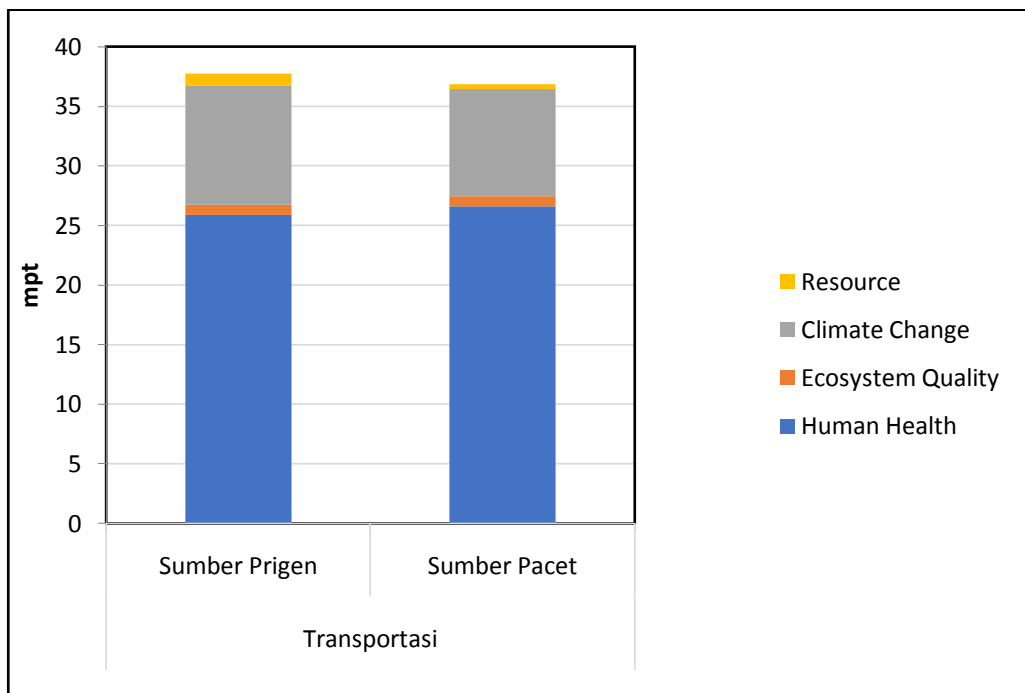
Berdasarkan penilaian pembobotan dapat diketahui bahwa nilai dampak berpengaruh pada kesehatan manusia, kualitas ekosistem, perubahan iklim dan sumber daya. Berdasarkan hasil pembobotan menunjukkan kontribusi yang paling tinggi yaitu terjadi pada kegiatan transfer air melalui ozon menuju galon sebesar 42,636 mpt. Penilaian pembobotan dengan menggunakan *Software* SimaPro 8.5 disajikan dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar 4.25, 4.26, 4.27, dan 4.28.



**Gambar 4. 25 Diagram batang transfer air sumber**

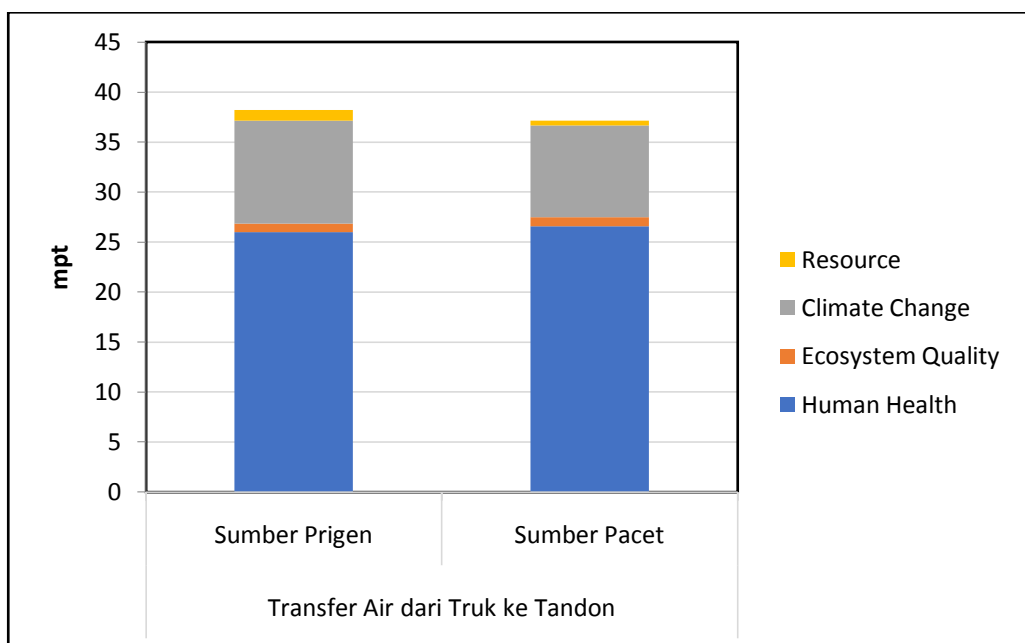
Dari Gambar 4.25 menunjukkan bahwa di sumber Prigen pada kegiatan transfer air sumber kedalam tandon berpengaruh terhadap lingkungan dengan memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim sebesar 5,43 mpt.





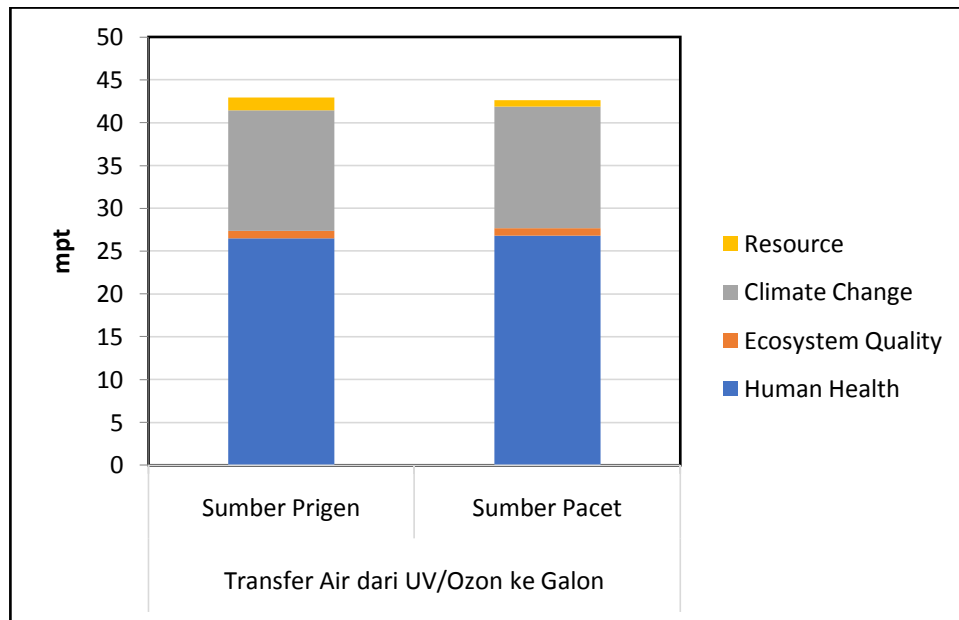
**Gambar 4. 26 Diagram batang transportasi**

Dari Gambar 4.26 menunjukkan bahwa di sumber Pacet pada kegiatan transportasi (pengangkutan air sumber menuju depo air minum isi ulang) berpengaruh terhadap lingkungan dengan memberikan kontribusi terhadap kesehatan manusia sebesar 26,6 mpt.



**Gambar 4. 27 Diagram batang transfer air dari truk ke tandon**

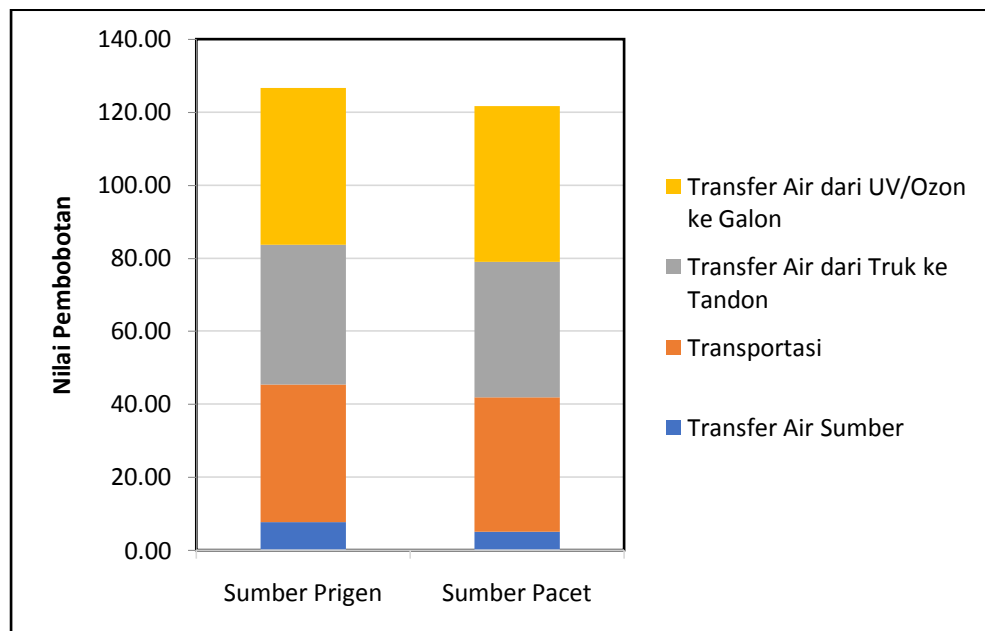
Dari Gambar 4.27 menunjukkan bahwa di sumber Pacet pada kegiatan transfer air dari truk ke tandon berpengaruh terhadap lingkungan dengan memberikan kontribusi terhadap kesehatan manusia sebesar 26,6 mpt.



**Gambar 4. 28 Diagram batang dari tandon melalui uv/ozon ke galon**

Dari Gambar 4.28 menunjukkan bahwa di sumber Pacet pada kegiatan transfer air dari tandon melalui ozon berpengaruh terhadap lingkungan dengan memberikan kontribusi terhadap kesehatan manusia sebesar 26,8 mpt.

Hasil pembobotan kegiatan produksi air minum isi ulang keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram batang yang dapat dilihat pada Gambar 4.29.



**Gambar 4. 29 Diagram Perbandingan Kegiatan Keseluruhan**

Berdasarkan Gambar 4.29 menunjukkan bahwa nilai paling tinggi kontribusi terhadap lingkungan terjadi pada sumber Prigen. Dimana semua kegiatan produksi air minum isi ulang yang menggunakan sumber Prigen menunjukkan nilai kontribusi lebih tinggi dibandingkan dengan sumber Pacet dengan menggunakan teknologi ozon. Dari Tabel 4.30 dapat dilihat bahwa pada kegiatan transfer air dari tandon melalui teknologi ultraviolet memberikan nilai kontribusi paling tinggi pada kesehatan manusia (*Human Health*) sebesar 42,962 mpt. Kontribusi tersebut disebabkan oleh belum hilangnya bakteri *Total Coliform* dalam air secara sempurna setelah adanya pengolahan apabila dikonsumsi secara terus menerus dalam jangka panjang (menahun) berbahaya bagi kesehatan dan energi listrik yang digunakan setiap hari sehingga berpengaruh emisi yang dikeluarkan ke udara semakin lama semakin berpengaruh pada kualitas udara dan mempengaruhi kesehatan manusia.

Menurut (Joliet *et al.*, 2003) menyatakan bahwa toksisitas sumber daya alam dan manusia mewakili semua efek pada kesehatan manusia, kecuali untuk efek pernafasan yang disebabkan oleh anorganik, efek radiasi ion, penipisan lapisan ozon, dan efek oksidasi fotokimia. Senyawa yang terdapat pada polutan

lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan manusia dan salah satunya penyebab kanker.

Menurut (Jolliet *et al.*, 2003) menyatakan bahwa pada tingkat kerusakan dampak dari pemanasan global disajikan dalam kategori kerusakan terpisah dalam Kg CO<sub>2</sub>-eq ke udara. Terdapat beberapa zat seperti CH<sub>4</sub> dan CO yang dapat menyebabkan pemanasan global karena CH<sub>4</sub> dapat terdegradasi akan menjadi CO<sub>2</sub> sedangkan untuk CO berdasarkan transformasi stokiometri akan menjadi CO<sub>2</sub>. Pemanasan global pada permukaan bumi berbentuk radiasi gelombang pendek. Ketika energi ini tiba di permukaan bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas. Permukaan bumi akan menyerap sebagian panas dan memantulkannya kembali sisanya. Sebagian panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke luar angkasa. Namun sebagian panas terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca. Dalam hal ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim di bumi.

Konsumsi energi sumber daya alam harus dikendalikan dalam penggunaannya. Semakin terus menerus digunakan tanpa ada energi terbarukan maka cadangan sumber daya alam akan habis sehingga mempengaruhi kesetimbangan lingkungan.

#### **4.4 Penentuan Strategi Prioritas dalam Pengendalian Dampak dari Kegiatan Produksi Air Minum Isi Ulang**

Penentuan strategi alternatif digunakan sebagai upaya perbaikan dalam proses pengolahan air siap minum. Alternatif terbaik dipilih berdasarkan pertimbangan dalam pengambilan keputusan dari alternatif-alternatif yang telah ditentukan oleh para pengambil keputusan dengan membandingkan alternatif-alternatif tersebut berdasarkan kriteria yang ada (Petruni *et al.*, 2017). Strategi alternatif untuk pengendalian dampak dari kegiatan produksi air minum isi ulang dapat dilihat pada Tabel 4.36.

**Tabel 4. 36 Alternatif untuk Pengendalian Dampak**

<b>Alternatif</b>	<b>Uraian</b>	<b>Fungsi</b>
Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	Mengganti mesin pompa, menggunakan teknologi UV dan Ozon yang ramah lingkungan	Menghemat penggunaan listrik, biaya operasi lebih rendah, menghasilkan listrik, dan mengurangi emisi
Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	Menggunakan bahan bakar (biosolar), biosolar dan gas merupakan bahan alam terbarukan yang dapat dijadikan bahan bakar pengganti minyak	Mengurangi emisi yang ditimbulkan dari aktifitas kegiatan pengolahan air minum isi ulang
Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/desinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	Mengembangkan dan menerapkan rencana manajemen area tangkapan air, yang mencakup upaya pengendalian untuk melindungi sumber air.	Mengurangi beban pencemar yang ditimbulkan

Alternatif diatas merupakan pilihan alternatif berasal dari studi literatur yang memungkinkan untuk diterapkan pada lokasi kerja dengan mempertimbangkan kriteria biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan. Penjelasan dilakukan pada subbab berikut ini.

#### **4.4.1 Pemilihan Prioritas Alternatif dengan AHP**

Pemilihan prioritas alternatif dalam AHP dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

##### **4.4.1.1 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur AHP**

Dari hasil *Life Cycle Assessment* diketahui grafik perbandingan yang menunjukkan dampak lingkungan dan telah dianalisa alternatif yang dapat digunakan.

Berikut merupakan strategi alternatif yang yang dapat membantu dalam upaya perbaikan untuk mereduksi dampak signifikan dari kegiatan produksi air minum isi ulang.

- Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan menggunakan alat penghemat listrik (Karnangingroem, 2017)

Penggunaan teknologi ramah lingkungan dinilai dapat mengurangi emisi beban pencemar dari kegiatan produksi air minum, dimana penggantian mesin uv/ozon dan pompa yang berbasis eco green (produk ramah lingkungan), penggunaan solar sel mini skala rumah tangga, dan penggunaan alat untuk penghemat listrik akan mampu mereduksi dampak lingkungannya.

- Menggunakan bahan bakar biosolar/gas (Harsono, 2015).

Mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan biosolar, merupakan alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari berbagai jenis biji-bijian. Penggunaan biosolar dapat mengurangi emisi carbon 120-170 kton pertahun, ramah lingkungan, pembakaran yang relatif bersih, sumber daya yang dapat diperbaharui tetapi membutuhkan biaya investasi tinggi (Harsono, 2015).

- Membuat pra pengolahan, koagulasi/ flokulasi/ sedimentasi/ desinfeksi/ filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber (Ester *et al.*, 2011).

Menurut buku pedoman air minum (2011) menjelaskan bahwa air baku untuk dijadikan air minum yang layak untuk dikonsumsi dibutuhkan pengolahan air minum dibutuhkan pengolahan seperti pra pengolahan, koagulasi/ flokulasi/ sedimentasi/ desinfeksi/ filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik tetapi peralatan yang mendukung juga harus ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi dampak lingkungannya.

Terdapat tiga kriteria yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

- **Biaya Investasi dan Produksi**

Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan. Biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan langsung yang digunakan untuk operasional alternatif.

- **Dampak Lingkungan**

Dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi dampak yang dianalisa pada LCA.

- **Kemudahan Pelaksanaan**

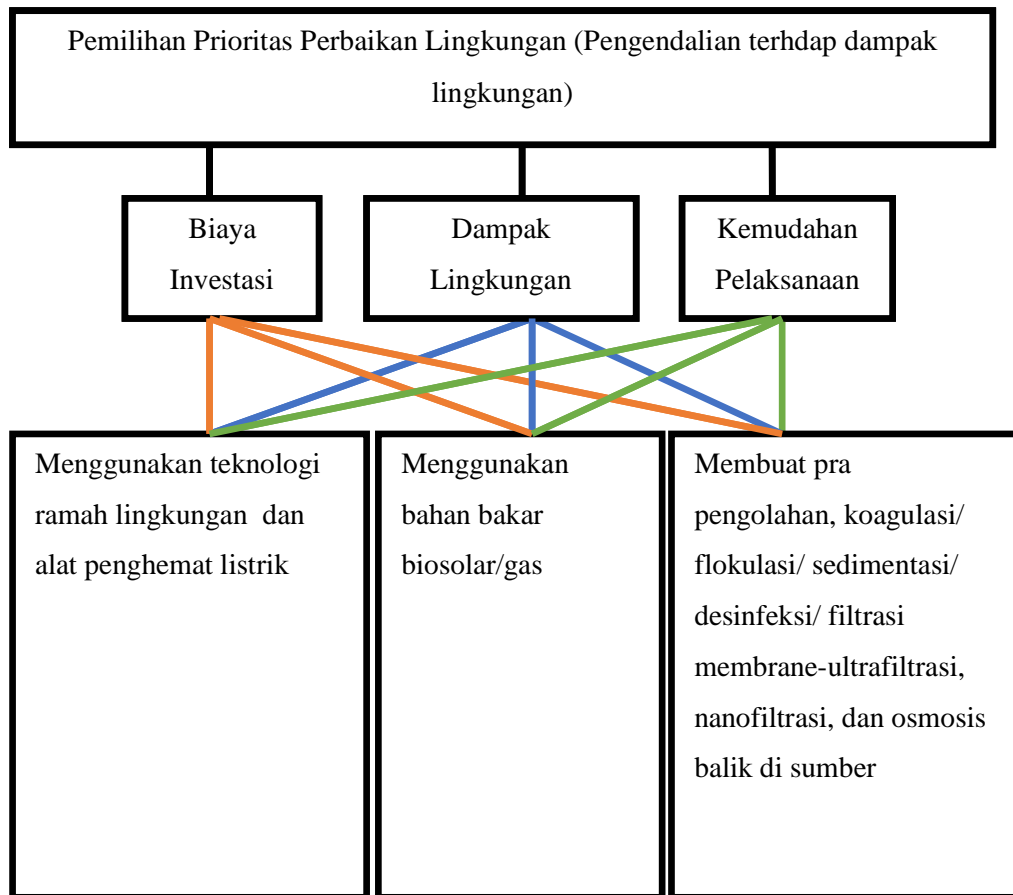
Kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif terbilang rendah.

Pengambilan keputusan dengan menggunakan metode *AHP*, dimana dalam penentuan strategi diambil berdasarkan hasil wawancara kepada akademisi yang ahli dan berkompeten bidang pengolahan air minum dan manajemen kualitas lingkungan dengan pengalaman dibidang tersebut selama kurang lebih 35 tahun sebanyak 1 orang, akademisi yang ahli dan berkompeten bidang pengendalian pencemar udara sebanyak 1 orang dengan pengalaman dibidang tersebut selama kurang lebih 25 tahun dan Dinas Kesehatan Kota Surabaya selaku pemegang wewenang dalam pengawasan usaha air minum isi ulang di Surabaya sebanyak 1 orang (Kabid Sanitasi) dengan pengalaman kerja bidang sanitasi dan teknologi pengolahan air selama kurang lebih 15 tahun. Upaya perbaikan dilakukan bertujuan untuk mereduksi kontribusi terhadap lingkungan (dampak) yang ditimbulkan dari kegiatan produksi air minum isi ulang.

#### **4.4.1.2 Hirarki Alternatif**

Berdasarkan hasil diskusi dengan beberapa orang yang ahli dan berkompeten di bidang pengolahan air minum dan pengendalian pencemar udara dipilih alternatif yang cocok diterapkan untuk upaya perbaikan dan mengurangi beban pencemar dan emisi yang dihasilkan. Berikut ini adalah hirarki strategi pengendalian dampak lingkungan yang timbul dari aktifitas-aktifitas pada setiap

kegiatan proses pengolahan air minum isi ulang. Hirarki dapat dilihat pada Gambar 4.30.



**Gambar 4. 30 Hirarki strategi pengendalian dampak lingkungan**

Kemudian dalam mempermudah analisis AHP, pada setiap alternatif dilambangkan dengan simbol tertentu. Simbol terdiri dari 2 macam seperti yang tertera pada Tabel 4.37.

**Tabel 4. 37 Simbol dan Definisinya**

Kriteria	Simbol	Alternatif	Simbol
Biaya investasi & produksi	A1	Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	K1
Dampak lingkungan	A2	Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	K2
Kemudahan pelaksanaan	A3	Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/ sedimentasi/desinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	K3



Kemudian membuat tabel perbandingan prioritas setiap alternatif dan kriteria. Dan dilanjutkan dengan menentukan bobot pada setiap alternatif dan kriteria nilai bobot adalah berkisar antara 0-1. Cara menghitung bobot adalah angka pada setiap kotak dibagi dengan penjumlahan semua angka dalam kolom yang sama. Pada analisis AHP dilakukan *Pairwise Comparison* (perbandingan prioritas) yang bertujuan untuk memeriksa konsisten atau tidak jawaban dari responden (ahli/pakar) dengan batas nilai *Inconsistency* tidak lebih dari 0-1. Hasil *Inconsistency* (perbandingan prioritas) dari masing-masing kriteria dan alternatif dapat dilihat pada Tabel 4.38.

**Tabel 4. 38 Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot Penilaian Kriteria**

Kode	A1	A2	A3	Total	Bobot
A1	0,50	0,76	0,53	1,79	0,59
A2	0,09	0,13	0,27	0,49	0,17
A3	0,41	0,10	0,20	0,72	0,24

Selanjutnya dilakukan *Sensivity Analys* yakni membandingkan hasil uji konsistensi secara keseluruhan yaitu dari kriteria dan alternatif dari 3 kombinasi. Hasil *Sensivity Analys* dapat dilihat pada Tabel 4.39, 4.40, dan 4.41.

- Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot Alternatif

Penilaian alternatif kriteria dampak lingkungan

**Tabel 4. 39 Penilaian Alternatif Kriteria Dampak Lingkungan**

Kode	K1	K2	K3	Total	Bobot
K1	0,41	0,69	0,50	1,6	0,54
K2	0,09	0,14	0,22	0,44	0,15
K3	0,50	0,17	0,27	0,94	0,31

Berdasarkan Tabel 4.39 hasil analisis untuk alternatif kriteria dampak lingkungan didapatkan nilai tertinggi hingga terendah yaitu K1 sebesar 0,55, K2 sebesar 0,15, dan K3 sebesar 0,32 dengan nilai inkonsistensi sebesar 0,59.

- Penilaian alternatif kriteria biaya investasi dan produksi

**Tabel 4. 40 Penilaian Alternatif Kriteria Biaya Investasi dan Produksi**

Kode	K1	K2	K3	Total	Bobot
K1	0,73	0,713	0,75	2,19	0,73
K2	0,13	0,12	0,11	0,35	0,12
K3	0,14	0,17	0,15	0,45	0,15

Berdasarkan Tabel 4.40 hasil analisis untuk alternatif kriteria biaya investasi dan produksi didapatkan nilai tertinggi hingga terendah yaitu K1 sebesar 0,73, K2 sebesar 0,12, dan K3 sebesar 0,15 dengan nilai inkonsistensi sebesar 0,59.

- Penilaian alternatif kriteria kemudahan pelaksanaan

**Tabel 4. 41 Penilaian Alternatif Kriteria Kemudahan Pelaksanaan**

Kode	K1	K2	K3	Total	Bobot
K1	0,59	0,59	0,58	1,77	0,59
K2	0,20	0,20	0,21	0,61	0,20
K3	0,21	0,21	0,21	0,63	0,21

Berdasarkan Tabel 4.41 hasil analisis untuk alternatif kriteria kemudahan pelaksanaan didapatkan nilai tertinggi hingga terendah yaitu K1 sebesar 0,59, K2 sebesar 0,20, dan K3 sebesar 0,21 dengan nilai inkonsistensi sebesar 0,59.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas sehingga didapat hasil akhir nilai bobot setiap kriteria dan strategi alternatif seperti pada Tabel 4.42.

**Tabel 4. 42 Nilai Bobot Setiap Kriteria dan Strategi Alternatif**

No	Kriteria yang diusulkan	Bobot	Nilai
1	Biaya investasi dan produksi	0,59	59%
2	Dampak lingkungan	0,17	17%
3	Kemudahan pelaksanaan	0,24	24%
<b>Jumlah</b>		<b>1,00</b>	<b>100%</b>

No	Strategi Yang Diusulkan	Bobot	Nilai
1	Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	0,73	73%
2	Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	0,12	12%
3	Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/desinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	0,15	15%
<b>Jumlah</b>		<b>1,00</b>	<b>100%</b>

Berdasarkan perhitungan menunjukkan bahwa pengendalian dampak lingkungan yang diusulkan adalah menggunakan teknologi ramah lingkungan dan menggunakan alat penghemat listrik memperoleh bobot sebesar 0,73 dengan nilai 73%. Strategi alternatif tersebut dipilih karena penggunaan alternatif ini dapat menurunkan biaya operasi dan mengurangi dampak lingkungan. Hal tersebut juga didukung berdasarkan literatur untuk mengurangi emisi terutama CO<sub>2</sub> yang dihasilkan.

Setelah dilakukan perhitungan beban emisi dari semua kegiatan pengolahan air minum isi ulang menunjukkan hasil bahwa jumlah emisi terbesar pada pemakaian energi listrik, dimana energi listrik melibatkan penggunaan bahan baku fosil khususnya batu bara, mengakibatkan dampak lingkungan terjadi terus menerus selama kegiatan berlangsung. Berarti dapat dikatakan emisi yang besar dihasilkan dari penggunaan bahan bakar selama proses kegiatan berlangsung. Sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut agar didapat alternatif solusi yang tepat untuk mereduksi jumlah beban emisi yang dihasilkan yaitu pada tahap berikutnya.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Hasil penelitian terhadap kegiatan produksi air minum isi ulang menunjukkan bahwa dampak paling besar terhadap *Human Health* pada proses produksi air minum adalah penggunaan energi pada penggunaan teknologi ultraviolet sebesar 42,962 mpt dan teknologi ozon sebesar 42,636 mpt.
2. Hasil analisis AHP menyimpulkan bahwa strategi yang disarankan untuk meminimalisir dampak adalah menggunakan teknologi ramah lingkungan (solar sel) dan alat penghemat listrik (dengan nilai responden 73%).

#### **5.2 Saran**

Sebaiknya untuk pengembangan penelitian perlu dilakukan studi lebih lanjut dilapangan untuk membuktikan bahwa strategi pengendalian dampak lingkungan dengan menggunakan solar sel dan alat penghemat listrik sangat cocok diterapkan di industri kecil khususnya kegiatan produksi air minum isi ulang.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Bernstein, L., et al., 2007. IPCC Summary of policy makers. intergovernmental panel on climate change. Fourth assessment report
- Boggia, A., Paolotti, L., Castellini, C, 2009. **Environmental Impact Evaluation of Conventional, Organic and Organic-Plus Poultry Production System Using Life Cycle Assessment.** *World's Poultry Science*, 66.
- Bruijn, *et al.* 2002. **Handbook on Life Cycle Assessment.** Kluwer Acafemic Publisher: New York.
- Eaulis, T. M., Balia, R. L., dan Yulia, A. H. 2008. **Reduksi Bakteri Total dan Enterobacteriaceae pada Campuran Lumpur Susu dan Onggok Fermentasi oleh Aspergillus Niger.** Proseding ISBN 878-602-88475-0501.
- Ester, M., Fema, S. M., dan Palupi, W. 2011. **Pedoman Mutu Air Minum Edisi Tiga.** Jakarta : EGC.
- Harsono, Budi dan Kiman Siregar.2015. **Peningkatan Kinerja Mesin Diesel dengan Produksi Biodiesel dari Kelapa (Coconut Nufera) dan Unjuk Kinerjanya Berbasis Transesterifikasi dengan Sistem Injeksi Langsung.**Jurnal Rona Teknik Pertanian.
- Joko, T. 2010. **Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum.** Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Jolliet, Olivier., Manuele M., Raphael C., Sebasten H., Jerrome P., Gerald R., and Ralph R. 2003. **Impact Assessment Methodology.** Switzerland : Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL).
- Karnaningroem, N., Mardyanto, M. A., Damayanti, A. 2017. **Assessment Risiko Bahaya Pemakaian Air Isi Ulang sebagai Pemenuhan Air Bersih dan Upaya Meminimisasi DampakNegatifnya.** Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada MasyarakatInstitut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Kemenperindag, 2014. **Persyaratan Teknis Depot Air Minum Dan Perdagangan Menteri Perindustrian Dan Perdagangan Republik**

- Indonesia.** Kemenperindag No. 651/MPP/Kep/10/2014. Jakarta. Metode Taguchi Analysis Dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Untuk Perbaikan Kualitas Produk Di PT. XYZ. E- Jurnal Teknik Industri FT USU Vol. 2 No. 2.
- Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia. 2004. Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia No. 651 tahun 2004 tentang **Persyaratan Teknis Depo Air Minum dan Perdaganganannya.**
- Marsono dan Yoga Pradana 2013. **Uji Kualitas Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Sukodono, Sidoarjo Ditinjau dari Perilaku dan Pemeliharaan Alat.** Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 2, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271).
- Menoufi, Karim Ali Ibrahim. 2011. **Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies** : A state of the art. Universitat de Lleida.
- Mohsin, M., Safdar, S., Asghar, F., Jamal, F. 2013. “**Assessment of Drinking Water Quality and Its Impact on Residents Health in Bahawalpur City**”. International Journal of Humanities and Social Science, 3 (15).
- Notoatmodjo, S. 2007. **Metodologi Penelitian Kesehatan.** Penerbit Rineka Cipta Otoatmodjo. Jakarta
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492 tahun 2010 tentang **Persyaratan Kualitas Air Minum.**
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2002. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907 tahun 2002 tentang **Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum.**
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2014. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.43 tahun 2014 tentang **Higiene Sanitasi Depo Air Minum.**
- Petruni, A., Giagloglou, E., Douglas, E., Geng, J., Leva, M.C & Demicela, M. 2017. **Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to Choose a Human Factors Technique: Choosing the Suitable Human**



**Reliability Analysis Technique for The Automotive Industry.** Safety Science.

Pre Consultants. 2014. **Introducing to LCA with SimaPro.** Netherlands.

Rocío Abín, Amanda Laca, Adriana Laca, Mario Díaz. 2018. Spain. **Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study.** Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Oviedo, C/ Julia n Clavería s/n, 33071, Oviedo, Spain. Journal of Cleaner Production 179.

Saaty, Thomas L. 1990. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting.** Resource Allocation. Pittsburgh: University of Pittsburgh Pers;

Sara Dominguez, Jara Laso, María Margallo, Rubén Aldaco, Maria J. Rivero, Ángel Irabien, Inmaculada Ortiz. 2017. Spain. **LCA of greywater management within a water circular economy restorative thinking framework.** Department of Chemical and Biomolecular Engineering, ETSIT, University of Cantabria, Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, Spain. Journal Science of the Total Environment

Sherrard, J. H., Moore, D. R., Dillaha, T.A. 2015. **Total Dissolved Solid : Determination, Sources, Effect, and Removal.** Journal of Environmental Education, 18 (2).

Smita Raghuvanshib, Vikrant Bhakara, Chelikani Sowmyab, K.S. Sangwana. 2017. India. **Waste water treatment plant life cycle assessment: treatment process to reuse of water.** A Department of Mechanical Engineering, Department on Chemical Engineering, Birla Institute of Technology & Science, Pilani, Rajasthan, India BITS Pilani, Rajasthan. Procedia CIRP 61 (2017) 761 – 766.

Tapia, M., Siebel, M., Helm, A., Bosklopper, K., Gijzen, H. 2005. **Environmental, Financial and Quality Assessment of Drinking Water Processes at Amsterdam Water Supply.** Seminario Internacional: Vision Integral en el Mejoramiento de la Calidad del Agua.

- Xi, J., Zhang, F., Lu, Y., Hu, H. Y. 2017. **A Novel Model Simulating Reclaimed Water Disinfection by Ozonation**. Separation and Purification Technology, 179 : 45-52.
- Yudo, S., dan Rahardjo, P. N. 2005. **Evaluasi Teknologi Air Minum Isi Ulang Di DKI Jakarta**. JAI Vol. 1 No. 3.

## LAMPIRAN 1

### Kuisisioner AHP

Perkenalkan nama saya Ayu Lintang Suminar, mahasiswi S2 Teknik Lingkungan ITS. Saat ini saya sedang melakukan penelitian mengenai *Strategi Pengendalian Dampak Kegiatan Air Minum Isi Ulang (Ozon dan Ultraviolet) dengan Proses LCA*. Tujuan dari adanya kuisisioner ini untuk menyusun strategi alternatif dalam upaya perbaikan. Maka dari itu mohon bapak/ibu berkenan untuk mengisi.

Nama responden :

Jabatan :

Instansi :

**Tabel x.xx Alternatif untuk Peningkatan Isi Ulang Air Minum**

Alternatif	Uraian	Fungsi
Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	Mengganti mesin pompa, menggunakan teknologi UV dan Ozon yang ramah lingkungan	Menghemat penggunaan listrik, biaya operasi lebih rendah, menghasilkan listrik, dan mengurangi emisi
Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	Menggunakan bahan bakar biosolar dan gas merupakan bahan alam terbarukan yang dapat dijadikan bahan bakar pengganti minyak	Mengurangi emisi yang ditimbulkan dari aktifitas kegiatan pengolahan air minum isi ulang
Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/desinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	Mengembangkan dan menerapkan rencana manajemen area tangkapan air, yang mencakup upaya pengendalian untuk melindungi sumber air.	Mengurangi beban pencemar yang ditimbulkan

Responden diminta untuk memberikan skala prioritas terhadap perbandingan alternative berikut dengan memberikan tanda lingkaran. Berikut contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh responden:

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
Alternatif A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Alternatif B	

<

Dalam tabel pemilihan terdapat rentang angka 1 sampai 9 kekiri dan kekanan dimana memberikan arah prioritas. Kearah kiri memberikan prioritas terhadap alternatif A dan kearah kanan memberikan prioritas terhadap alternatif B. **Rentang angka pada penilaian prioritas, angka 1 merupakan skala prioritas paling rendah dan angka 9 merupakan skala prioritas paling tinggi.**

#### A. Prioritas Kriteria

Berdasarkan dari ketiga kriteria yaitu biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan mana yang menjadi prioritas responden untuk mendasari dalam pemilihan alternatif nantinya.

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pengaruh ke masyarakat dan lingkungan	
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan	
Pengaruh ke masyarakat dan lingkungan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan	

B. Berdasarkan biaya investasi dan produksi

Kriteria Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan langsung yang digunakan untuk operasional alternatif.

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	
Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	
Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi,																		Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber																			

### C. Berdasarkan Hasil Analisis LCA

Kriteria seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi yang dianalisa pada LCA.

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	
Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber	

Alternatif	Prioritas																Alternatif
Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber																	Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik

#### D. Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan

Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif terbilang rendah.

Alternatif	Prioritas																Alternatif	
Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Menggunakan bahan bakar biosolar/gas
Menggunakan bahan bakar biosolar/gas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membrane-ultrafiltrasi,

Alternatif	Prioritas														Alternatif
															nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber
Membuat pra pengolahan, koagulasi/flokulasi/sedimentasi/deinfeksi/filtrasi membran-ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik di sumber															Menggunakan teknologi ramah lingkungan dan alat penghemat listrik

**Terimakasih**



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Ngawi, 17 Juli 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMP Negeri 20 Surabaya, SMA Muhammadiyah 2 Surabaya, dan S1 Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) tahun 2011-2015. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis aktif mengikuti kegiatan Kampung Binaan Teknik Lingkungan ITS tahun 2011/2012, penulis pernah menjadi panitia Green Weeks yang diadakan oleh Kementrian Sosial Masyarakat BEM ITS tahun 2012, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS (HMTL-ITS) sebagai Kepala Bidang Hubungan Konsumen (BSO-Dana Usaha) tahun 2013/2014, penulis pernah mengikuti seminar Internasional Indo Water Expo 2014 di Surabaya, penulis pernah mengikuti pelatihan Health dan *Safety Management System* OHSAS 18001:2007 dan ISO 14001:2004 di Teknik Lingkungan ITS. Selain itu, penulis pernah kerja praktik di PDAM PT Surya Sembada Kota Surabaya tahun 2014 dan menjadi Asisten Laboratorium Mikrobiologi semester ganjil dan genap 2014-2015.

Setelah lulus sarjana tahun 2015 penulis pernah menjadi juri *Green and Clean* Surabaya Emas oleh Dinas Kebersihan Ruang Terbuka Hijau Surabaya, pada tahun 2016 penulis bekerja sebagai Asisten Tenaga Ahli di Konsultan Perencanaan Kota Bandung, pada tahun 2017 penulis bekerja sebagai Asisten Tenaga ahli di Kontraktor Swasta Surabaya, dan pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan Program Magister (S2) Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menempuh pendidikan magister penulis pernah mengikuti Conference “The 4<sup>th</sup> Conference On Innovation and Industrial Application” CINIA 2018.